Liste des abréviations

ACI : Action Concertée Incitative

AdS : Académie des Sciences

AN : Archives Nationales

AP : Astronomie Physique

ApJ : Astrophysical Journal

BA : Bulletin Astronomique

BdL : Bureau des Longitudes

CRAS : Comptes rendus de l'Académie des Sciences

ENS : Ecole Normale Supérieure

MNRAS : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

OP : Observatoire de Paris

RC : Rayons Cathodiques

RGSPA : Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées

SAF : Société Astronomique de France

VR : Vitesse radiale

Sommaire

Remerciements ..... **i**
Liste des abréviations ..... **iii**
Sommaire..... **v**
Introduction **1**
Présentation du sujet..... 1
Etat de la question et historiographie 5
Méthode et périodisation 9

Partie 1 Une science en gestation (1860-1874) 17

1.1 D'une physique nouvelle à la nouvelle astronomie : enracinement épistémologique d'une discipline **19**
1.1.1 De la physique laplacienne à la physique fresnélienne 20
1.1.2 Les héritiers d'Arago et Fresnel 25
1.1.3 « L'invitation pressante à l'étude des spectres des étoiles » 36

1.2 Jules Janssen : un initiateur de la spectroscopie astronomique **49**
1.2.1 D'une famille d'artiste à une vie de savant 49
1.2.2 De l'ophtalmologie à la construction de spectroscopes 53
1.2.3 Etudes spectroscopiques..... 56
1.2.4 Style et sociabilité 60

1.3 L'Astronomie physique et l'Ecole Normale Supérieure **67**
1.3.1 Une institution montante de la science française : l'Ecole Normale Supérieure 68
1.3.2 La spectroscopie stellaire de Charles Wolf et Georges Rayet..... 76
1.3.3 L'actinométrie de Jules Violle 80
1.3.4 L'interférométrie et les nébuleuses avec Edouard Stephan..... 86
1.3.5 Spectroscopie et métrologie par Eleuthère Mascart 88

1.4 Le temps des éclipses **93**
1.4.1 La physique solaire..... 94

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1.4.2 Jules Janssen : une mise en lumière par les éclipses de Soleil 101
1.4.3 L'Astronomie Physique normalienne : à l'ombre de Le Verrier..... 109

Conclusion de la partie 1 117

Partie 2 De l'image à la mesure, et vice-versa (1874-1895) 121

2.1 Le Passage de Vénus : « L'Instant Rêvé » 123
2.1.1 Un promoteur précoce de la photographie scientifique : Hervé Faye..... 124
2.1.2 La quête de l'image de Jules Janssen..... 126
2.1.3 Mesure et laboratoire : une alternative à l'image..... 129
2.1.4 Le tournant métrologique d'Alfred Cornu 131
2.1.5 De l'observatoire au laboratoire : le Passage de Vénus entre image et mesure 137

2.2 L'observatoire de Meudon : l'image et les voyages 143
2.2.1 La fondation d'un observatoire d'Astronomie Physique en France..... 143
2.2.2 Par et pour l'image 148
2.2.3 Meudon, entre voyages et sédentarité. 159
2.2.4 Unité et spécialisation 172

2.3 L'Astronomie Physique « invitée » à l'Observatoire de Paris 179
2.3.1 L'optique astronomique d'Alfred Cornu 179
2.3.2 Collaborations spectroscopiques et photométriques : Thollon, Gouy, Egoroff 194

2.4 L'expertise spectroscopique de Henri Deslandres 207
2.4.1 De l'Ecole Polytechnique à la recherche scientifique, en passant par l'armée 207
2.4.2 La spectroscopie stellaire à l'Observatoire de Paris..... 216
2.4.3 Vers l'imagerie solaire 229
2.4.4 Affirmation d'une pratique spécifique : l'image et la mesure, entre Cornu et Janssen..... 236

Conclusion de la partie 2 241

Partie 3 Pratiques multiples, savants dispersés (1895-1914)....243

3.1 Politiques d'appropriation de la discipline 245

3.1.1 Structuration internationale de la discipline 245

3.1.2 Alfred Cornu : l'Astronomie physique française sur la scène internationale 251

3.1.3 Henri Poincaré : de l'effet Doppler-Fizeau aux hypothèses cosmogoniques, un stimulateur de la discipline 255

3.1.4 Jules Janssen : fin de règne, début du mythe 257

3.1.5 Henri Deslandres : trajectoire diagonale sur l'échiquier de l'Astronomie Physique française.. 272

3.2 L'Astronomie Physique hybride de Deslandres 295

3.2.1. Les tourbillons, ou l'Univers expliqué au laboratoire 295

3.2.2. Des rayons cathodiques à une théorie corpusculaire du Soleil 308

3.2.3. Le renouveau cosmogonique comme fondement de l'Astronomie Physique 323

3.2.4. L'approche mécanicienne des problèmes cosmogoniques 336

3.3 Le Service d'Astronomie Physique de l'Observatoire de Paris (1898-1914) 347

3.3.1 Formations et parcours : une équipe combinant les compétences 348

3.3.2 Des travaux variés et originaux 353

3.3.3 Une communauté active, sans véritable reconnaissance en France : analyse d'une situation paradoxale 367

3.4 Permanence et continuité polytechnicienne 3777

3.4.1 De la métrologie à l'astronomie physique 377

3.4.2 Alfred Pérot : un physicien à l'observatoire de Meudon 383

3.4.3 « Les physiciens sont partout chez eux », ou l'omniprésence de Charles Fabry .. 388

3.4.4 Entre tradition et modernité : Jean Bosler, acteur et critique 400

Conclusion de la partie 3 411

Conclusion 415

Annexes 425

Annexe 1 : Publications dans les *CRAS* à la rubrique « Astronomie Physique », de 1866 à 1895, et par thème 427

Annexe 2 : Conversation de Janssen avec Faye Mardi 22 septembre 1863..... 431

Annexe 3 : Publications d'Alfred Cornu, d'après le *Catalog of Scientific Papers*, publié par la Royal Society of London, de 1861 à 1900 433

Annexe 4 : Extrait du dossier d'Alfred Cornu conservé aux Archives de l'Ecole Polytechnique, Cote X-III-b 56 435

Annexe 5 : Publications de Henri Deslandres dans les *CRAS* de 1885 à 1928 437

Annexe 6 : Publications des chercheurs français dans l'Astrophysical Journal(1895-1928) …… 439

Annexe 7 : Lettre de Henri Deslandres à William Campbell, New York le 28 septembre 1910 (conservée à la bibliothèque du Lick Observatory)…….....……...443

Bibliographie..... 447

Introduction

Présentation du sujet

Au cours du XIX^{ème} siècle, l'astronomie voit ses méthodes et ses objets d'étude considérablement évoluer : à côté d'une astronomie dite de position, c'est-à-dire qui ne s'intéresse qu'à la position des objets célestes dans le ciel, émerge et s'affirme une astronomie dite physique, qui aboutira plus tard à l'astrophysique. Pour autant, l'expression 'astronomie physique' est utilisée depuis au moins le XVIII^{ème} siècle, mais avec un sens fort différent de celui qui préludera à la naissance de l'astrophysique. Par exemple, en 1740, M. de Gamaches publie sous le titre principal d' *Astronomie Physique* un ouvrage où il défend les principes cartésiens face à la théorie de Isaac Newton[1]. A la fin du XVIII^{ème} siècle, influencé par J.-A.-J. Cousin qui publie en 1787 une *Introduction à l'étude de l'astronomie physique*, ouvrage rassemblant ses conférences au Collège royal, Pierre Simon Laplace envisage la rédaction d'un traité d'astronomie physique qui est en fait l'étude de la théorie du mouvement et de la figure des planètes. Roger Hahn note que c'est en 1797 que Laplace utilisera pour son traité l'expression 'mécanique céleste' au lieu d' 'astronomie physique' : l'astronomie physique est donc une branche de la mécanique, un problème de mathématiques[2]. Pour Pierre Brunet, l'expression 'astronomie physique' a remplacé la notion de 'physique céleste' de Jean Bernoulli, et était utilisée pour distinguer le domaine qui s'intéressait à la recherche de la raison physique des mouvements des corps célestes, de l'astronomie géométrique.[3] En 1810, le *Traité Elémentaire d'Astronomie Physique* de Jean-Baptiste Biot est toujours dans la lignée laplacienne de la mécanique céleste.

Mais dès le XIX^{ème} siècle, l'expression 'astronomie physique' prend un sens bien différent : elle est la branche de l'astronomie qui s'intéresse à l'apparence physique des astres, et est née dès le début du XVII^{ème} siècle lorsque Galilée mit au point sa lunette et commença l'étude de

[1] GAMACHES, Etienne-Simon de, *Astronomie Physique, ou Principes Généraux de la Nature, appliqués au mécanisme astronomique, et comparés aux principes de la philosophie de M. Newton*, C.-A. Jombert, Paris, 1740.
[2] HAHN, Roger, *Le système du monde. Pierre Simon Laplace. Un itinéraire dans la science*, Gallimard, 2004, p.140.
[3] BRUNET, Pierre, «Note sur l'expression 'Astronomie Physique'», *L'Astronomie*, 1932, p.99-100.

rapport-Gratuit.com

la surface des planètes, de la Lune ou du Soleil. Jules Janssen écrit ainsi que « C'est l'invention des lunettes qui donna à l'astronomie physique ses premières bases. »[4] Charles Wolf, au même moment écrit aussi que « […] Galilée, armé de la lunette qu'il venait de perfectionner, scrutait, pour la première fois, les profondeurs des cieux et transformait l'Astronomie en créant l'Astronomie physique […] »[5]. Et Wolf d'associer aux figures de Kepler, Newton et Galilée les « trois parties de la Science, l'Astronomie d'observation, la Mécanique céleste et la Physique des astres ». Guillaume Bigourdan, un peu plus tard, apporte au crédit des lunettes que, grâce à elles,« Pour la première on put apercevoir des détails à la surface de divers corps célestes et on peut dire que de cette époque date l'*Astronomie physique* »[6].

Pourtant, la littérature historique contemporaine porte un regard différent sur l'origine de l'astrophysique. En 1961, Jacques Lévy écrit que l' « on peut ainsi fixer la date de naissance de *l'astrophysique* au 27 octobre 1859, jour de la communication mémorable que Kirchhoff fit à l'Académie de Berlin »[7]. De même, Owen Gingerich avance que « ce fut vraiment la combinaison heureuse à Heidelberg d'un chimiste habile et d'un physicien à la recherche de généralisations qui donna naissance à l'astrophysique –ou, de façon plus juste, à l'astrochimie »[8]. Ainsi, cette différence d'appréciation entre l'histoire écrite dans les années 1880 par des acteurs mêmes d'un champ émergent et celle contée presque un siècle plus tard peut nous inviter à la question suivante : décrire l'évolution de l'astronomie physique revient-il au même que de faire l'histoire de l'astrophysique ?

Si le mot « astrophysik », formulé pour la première fois par l'allemand Johann Carl Friedrich Zöllner en 1865, gagne très vite les pays anglo-saxons sous la forme 'astrophysics' (l'astronome anglais Edwin Dunkin nomme dès 1869 « astrophysicist » tout astronome impliqué dans des travaux de spectroscopie solaire et stellaire[9]), le *Grand Robert de la*

---

[4] JANSSEN, Jules, « Les méthodes en astronomie physique », *Comptes rendus de l'AFAS*, 1882, p.12.
[5] WOLF, Charles, « Les méthodes en astronomie physique », *Ciel et Terre*, vol.4, 1884, p.78.
[6] BIGOURDAN, Guillaume, *L'Astronomie. Evolution des idées et des méthodes*, Flammarion, Paris, 1920, p.125.
[7] LEVY, Jacques, « Exploration de l'Univers stellaire », in *La Science contemporaine. 2/ Le XX*^{ème} *siècle. Années 1900-1960*, TATON, René (dir.), Quadrige, PUF, 1995, p.127.
[8] GINGERICH, Owen, « Astronomical Scrapbook, Unlocking the Chemical Secrets of the Cosmos », *Sky and Telescope*, juillet 1981, p14. Les travaux de Kirchhoff et Bunsen cités ici correspondent à l'élucidation des raies du spectre solaire, à savoir que la relation entre la puissance de l'émission et le pouvoir absorbant de chaque sorte de rayon est la même pour tous les corps à la même température, c'est-à-dire qu'un corps, placé dans des conditions d'excitation déterminées, ne peut émettre que les radiations qu'il est capable d'absorber.
[9] Voir DEVORKIN, David H., « Astrophysics », in *History of Astronomy : An Encyclopedia*, New York, Garland Publishing, 1997, p.72-80.

Langue française (édition 2001) donne comme première occurrence du mot 'astrophysique' l'année 1904[10]. Nous avons cependant pu identifier son utilisation en France plus tôt, notamment par Alfred Cornu dès 1897[11].

Pour le cas français toujours, il apparaît que le premier ouvrage à caractère universitaire[12], que nous ayons identifié, qui utilise explicitement le mot 'astrophysique' est celui de Jean Bosler : son *Cours d'Astrophysique* est le résultat de conférences données à la Sorbonne dans le cadre d'un cours libre.[13] Il faudra attendre 1959 pour que Pecker et Schatzmann publient leur *Astrophysique Générale*, soi-disant le premier ouvrage écrit pour des étudiants et des chercheurs, consacré à l'astrophysique.

A un niveau institutionnel, l'astrophysique française apparaît elle aussi de façon explicite seulement en 1936, avec la création du Service de Recherche d'Astrophysique, dirigé par Jean Perrin, service qui deviendra l'Institut d'Astrophysique de Paris en 1952[14]. On rencontre alors chez les astrophysiciens l'évocation, récurrente, d'un retard de l'astrophysique française par rapport aux autres nations. Charles Fehrenbach, par exemple, identifie la Carte du Ciel comme l' « une des causes profondes du retard de l'astronomie physique en France »[15]. Dans la même idée d'ailleurs, l'historien des sciences John Lankford attribue à la non-participation américaine au projet de la Carte du Ciel le développement important de l'astrophysique aux Etats-Unis.[16] L'astronome français Philippe Véron écrit pour sa part :

> La France, à la fin du XIX[e] siècle, avait pris l'initiative d'un programme d'observations démesuré, la Carte du Ciel, qui mobilisa l'essentiel des moyens humains et financiers disponibles ; il en résulta que

---

[10] NORDMANN, Charles, « Fondation d'un observatoire astrophysique en Espagne», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.15, 1904, p.474-475.

[11] CORNU, Alfred, «L'œuvre astrophysique de Fizeau», *L'Astronomie*, 1897, p.457-461. Voir aussi : TOWNE, Gelion, *Astronomie, astrophysique, géodésie, topographie et photogrammétrie pratique, avec méthodes d'observations et exemples numériques…à l'usage des astronomes amateurs, des explorateurs, des ingénieurs civils et militaires, des topographes, des officiers de l'armée et des gens du monde*, E. Bertaux, 1896.

[12] Deux ans avant Bosler, Albert Nodon fait paraître un ouvrage également consacré à l'astrophysique : NODON, Albert, *Eléments d'astrophysique. Introduction à l'étude de l'énergétique solaire et stellaire*, Librairie scientifique Albert Blanchard, Paris, 1926. Cependant, cet ouvrage n'a pas eu une vocation universitaire, mais était plutôt destiné à un public large, puisqu'il résultait de conférences grand public.

[13] BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928.

[14] Arnaud Saint-Martin prépare en ce moment une thèse sur la recomposition du champ astronomique français, de 1900 à 1940.

[15] FEHRENBACH, Charles, *Des hommes, des télescopes, des étoiles*, Editions du CNRS, Paris, 1990, p.23.

[16] « By a curious turn of events, then, the growth of astrophysics in the United States may have been stimulated as a consequence of non-participation in the Carte du Ciel while, at least to a degree, astrophysical research in Europe may have been retarded because the Carte absorbed funds and engrossed staff time that otherwise might have been allocated to astrophysics. » LANKFORD, John, «The impact of photography on astronomy», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p.32.

l'astrophysique, qui prit son essor à la même époque aux Etats-Unis et ailleurs, fut complètement négligée en France.[17]

Cependant, Ileana Chinnici, à la fin de son ouvrage consacré à la correspondance inédite de la Carte du Ciel, nuance cette position : « […] que cette entreprise ait empêché l'astrophysique française de se développer, voilà qui serait à examiner »[18]. L'historien de l'astronomie anglais D.H.P. Jones a, quant à lui, récemment nuancé cet effet néfaste de la Carte du Ciel.[19] Jones souligne que postuler l'obstacle que la Carte du Ciel aurait opposé au développement de l'astrophysique en Europe, et donc en France, suppose d'affirmer implicitement que l'astrophysique est plus importante que l'astronomie de position, en négligeant le fait que ces deux branches aient pu se développer indépendamment. En regardant de plus près l'évolution du matériel européen, la possibilité de sites d'observations privilégiés et la présence de mécènes, Jones conclut que la Carte du Ciel a constitué une raison mineure dans l'évolution de l'astrophysique européenne.[20]

Ainsi, notre thèse vise non pas à écrire une histoire de l'astrophysique (qui aurait eu comme horizon, comme nous l'avons vu plus haut, l'astrophysique française telle qu'elle a abouti dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle) , mais à analyser les liens entre les sciences physiques et l'astronomie qui, tout au long du XIX^{ème} siècle, ont permis l'apparition d'un nouveau champ du savoir, dans la perspective de mettre en relief les spécificités françaises plutôt qu'à constater un éventuel retard ou déclin[21]. Ainsi, on peut déjà se poser la question de savoir si cette astronomie physique française est le résultat d'une astronomie marginale qui a trouvé les ressources de s'institutionnaliser, ou au contraire une physique particulière qui a colonisé l'astronomie. Dans cette optique, il est important de regarder exactement les acteurs impliqués, leurs formations, influences, publications, etc. Et, par conséquent, c'est une étude

---

[17] VERON, Philippe, «Préhistoire de l'Observatoire de Haute Provence», *Colloque Observatoires et patrimoine astronomique français*, Nantes, 8-9 juin 2001, www.obs-hp.fr/www/preprints/pp156/pp156.pdf

[18] CHINICCI, Ileana, *La carte du ciel : correspondance inédite conservée dans les archives inédites de l'observatoire de Paris*, Observatoire de Paris, 1999, p.466.

[19] JONES, D.H.P., « Was the Carte du Ciel an obstruction to the development of astrophysics in Europe ? », in HECK, André, *Information handling in astronomy-historical vistas*, Kluwer Academic Publishers, 2003, p.267-273.

[20] Arnaud Saint-Martin fait une analyse sociologique pertinente de ce point. Voir : SAINT-MARTIN, Arnaud, « La phase critique de la Carte du Ciel à Paris, 1920-1940 », in LAMY, Jérôme, *La Carte du Ciel*, Paris, EDP Sciences, à paraître.

[21] Nous suivrons en cela Dominique Pestre dans son ouvrage *Physique et physiciens en France 1918-1940*, qui préfère chercher des spécificités nationales au développement de la physique française plutôt que d'adhérer d'emblée à la thèse d'un déclin français par rapport aux autres nations, Etats-Unis en tête. Voir : PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992.

du milieu physicien français qui devient nécessaire pour comprendre de quelle façon une communauté savante a pu innover. C'est-à-dire qu'il s'agira de remettre dans son contexte (scientifique, culturel, voire social) une situation particulière, pour analyser les possibilités instrumentales et théoriques qui lui étaient offertes. A ce sujet, l'article que nous avons écrit avec Laetitia Maison nous a permis d'affirmer l'importance d'une prise en compte des approches et des cultures de trois acteurs significatifs de l'astronomie physique au XIX^{ème} siècle, à savoir Jules Janssen, Alfred Cornu et Georges Rayet.[22]

En second lieu, notre but a été de trouver l'articulation entre les sciences physiques et l'astronomie, à une époque et dans un contexte particuliers. En effet, si l'astronomie relève principalement de l'observation, et donc s'érige dans les observatoires, les sciences physiques relèvent de l'expérimentation, c'est-à-dire d'une pratique du laboratoire. Notre thèse interroge donc ce lien entre l'observation et l'expérimentation, nécessairement à l'œuvre dans l'émergence d'une discipline qui se veut un point de jonction entre ces deux approches.[23]

Etat de la question et historiographie

Comme nous l'avons vu plus haut, la plupart des historiens de l'astronomie s'accordent sur le fait que l'astronomie physique, quelles que soient ses origines, prend un virage décisif en 1859 avec l'interprétation par Kirchhoff et Bunsen des raies spectrales[24]. Ces travaux donnent enfin un support théorique aux observations physico-chimiques des astres, et, pour des raisons instrumentales liées entre autres à la dispersion des prismes, vont initier et centrer les études

---

[22] LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

[23] Sur ce point, notre participation à l'ACI « Savoirs et techniques de l'observatoire » puis au projet Nadirane, dirigés par David Aubin, a été déterminante, notamment par l'étude que nous avons menée à l'occasion du colloque organisé sur l'histoire sociale des passages de Vénus en juin 2004 : LEGARS, Stephane, « Vénus, 1874 : la mise en place des fondements techniques et institutionnels de l'astrophysique française », Actes du colloque « L'événement astronomique du siècle ? Une histoire sociale des passages de Vénus 1874-1882 », à paraître dans *les Cahiers François Viète.*

[24] Voir par exemple : MEADOWS, A. J., « The origins of astrophysics », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.3-16 ; HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of Starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 ; HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002 ; BENNET, J.A., «The Spectroscope first decade», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, vol.4, 1984, p.3-6.

d'astronomie physique sur le Soleil. Ainsi, selon Karl Hufbauer[25], il est possible de dégager trois grandes tendances successives dans le développement de la physique solaire au niveau international : entre 1860 et 1870, d'intenses recherches sur le Soleil sont menées à l'occasion des éclipses ; entre 1870 et 1890 la discipline s'institutionnalise au sein d'observatoires spécialisés sans pour autant produire de nouvelles découvertes ; enfin, à partir des années 1890 un nouvel élan, gagnant essentiellement les pays anglo-saxons, aboutit à la fondation du premier journal consacré uniquement à l'astrophysique et à la spectroscopie expérimentale, l'*Astrophysical Journal*. Au niveau national, diverses études historiques centrées sur les cas américain, anglais, allemand et italien montrent que l'émergence de l'astronomie physique suit sensiblement l'évolution proposée par Hufbauer. Dans tous ces pays, la nouvelle astronomie se construit d'abord et avant tout en marge de la « vieille astronomie » c'est-à-dire grâce à des amateurs ou des scientifiques, souvent des professionnels marginaux ou des amateurs, plus physiciens que mathématiciens, dotés d'une grande habileté technique. Par contre, l'institutionnalisation de la discipline, à partir de 1870, semble dépendre des particularités nationales : rôles importants du domaine privé dans les pays anglo-saxons, impulsion de l'Etat prépondérante en Italie et en Allemagne.[26]

En ce qui concerne la France, le développement de l'astronomie physique n'a guère été l'objet d'études approfondies. On recense d'une part quelques travaux portant sur le développement de la photographie astronomique[27]. D'autre part, ce sont essentiellement les figures mythiques

---

[25] HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Johns Hopkins University Press, Baltimore et Londres, 1993.

[26] Voir entre autres : BECKER, Barbara, « Visionary Memories : William Huggins and the Origins of Astrophysics », *Journal for the History of Astronomy*, 2001, vol.32, fasc. 1, p.43-62 ; DEVORKIN, David, «Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p.90-108 ; LANKFORD, John, « Amateurs and astrophysics : A Neglected Aspect in the Development of a Scientific Specialty», *Social Studies of Science*, 11, 1981, p.275-303 ; LANKFORD, John, *American Astronomy, Community, Careers and Power, 1859-1940*, University of Chicago Press, Chicago and London, 1997 ; MEADOWS, A. J., « The origins of astrophysics », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.3-16 ; MEADOWS, A. J., « The new astronomy », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.59-72 ; SCHAFFER, Simon, « Where experiments end : tabletop trials in Victorian astronomy », in *Scientific practice : theories ans stories of doing physics*, Chicago & London , The University of Chicago Press, 1995, p. 257-299 ; *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

[27] *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000 ; CANGUILHEM, Denis, *Le Merveilleux scientifique. Photographies du monde savant en France 1844-1918*, Gallimard, 2004 ; ROTHERMEL, Holly, « Images of the sun : Warren de la Rue, George Bidell Airy and celestial photography », *British Journal for the History of Science*, vol.26,1993, p.137-169 ; HACKMANN, Willem D., « Warren De la Rue and lunar photography », *Bulletin of the Scientific Instrument Society* , vol.53,1997, p.2-4.

de l'astronomie physique française qui ont reçu l'intérêt des astronomes et des historiens : en premier lieu Jules Janssen[28] et dans une moindre mesure tout récemment, Léon Foucault[29]. Mais aucune recherche n'a encore été menée au niveau de la communauté astronomique française intéressée aux questions de physique céleste, sur la constitution et l'entretien des réseaux impliqués, sur les relations entretenues avec les constructeurs, et sur les instruments employés. Il en résulte que le champ de l'astronomie physique française dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle reste encore à notre connaissance largement méconnu.

En ce qui concerne l'analyse des pratiques scientifiques, un certain nombre d'études se sont intéressées au changement qui s'opère au cours du XIX^{ème} siècle[30]. Ces études ont regardé comment, à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle, les sciences physiques vont être marquées par le souci de la précision, et par le développement sans précédent de l'instrumentation, développement stimulé par une industrie qui connaît à ce moment une évolution significative. Les conséquences sur les pratiques du laboratoire et de l'observatoire sont significatives, ces

---

[28] AMALRIC, Pierre, « Jules Janssen (1824-1907) : from ophtalmology to astronomy », *Documenta Ophtalmologica*, 81, 1992, p.37-42 ; AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633 ; CHAPIN , Seymour L., « P.J.C. Janssen and the advent of the spectroscope into astronomical prominence », *Griffith Observer*, vol.48, fasc.7, 1984, p.2-15 ; LEVY, Jacques, "JANSSEN, Pierre Jules César", *Dictionnary of Scientific Biography*, pp.73-78 ; LAUNAY, Françoise, "Jules Janssen et la photographie", in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22-31 ; LAUNAY, Françoise, HINGLEY, Peter D., «Jules Janssen's 'revolver photographique' and its british derivative, 'the Janssen slide' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, 2005, p.57-79 ; LEGARS, Stephane, « La spectroscopie solaire : les contributions de Jules Janssen », Mémoire de DEA, Université de Nantes, 2002 ; LEGARS, Stephane, « Jules Janssen et la nécessité du lien social dans la construction du savoir scientifique et technique. », in *Regards croisés sur le lien social*, BOUGET, Denis, KARSENTY, Serge (dir.), Editions L'Harmattan, mars 2005 ; LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *op.cit.* ; MAHIAS , Marie-Claude, « Le Soleil Noir des Nilgiri. L'astronomie, la photographie et l'anthropologie physique en Inde du Sud », *Gradhiva*, 24, 1998, p.45-56 ; SICARD, Monique, « Passage de Vénus, Le Revolver Photographique de Jules Janssen », *Etudes Photographiques*, 4, 1998, p.45-63 ; UEBERSCHLAG, Josette, «Janssen et le démon de la précision», *L'Astronomie*, Février 2000, vol.114, p.58-61 ; VERDET, Jean-Pierre, *Astronomie et Astrophysique, Textes Essentiels*, Larousse, 1993, pp. 751-779.

[29] TOBIN, William, *Léon Foucault*, EDP Sciences, 2002.

[30] DORRIES, Matthias, «Balances, spectroscopes, and the Reflexive Nature of Experiment», *Studies in History and Philosphy of Science*, 25, 1994, p.1-36 ; GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, University of Chicago Press, 1997 ; GODLEWSKA, Anne Marie Claire, « From Enlightenment Vision to Modern Science ? Humboldt's Visual Thinking », in LIVINGSTON, D.N., WITHERS, C.W.J. (dir.), *Geography and Enlightenment*, Chicago-London, University of Chicago Press, 1999, p.236-275 ; SMITH, Crosbie, AGAR, Jon, *Making Space for Science*, Manchester, 1998 ; *Instruments of Science : an Historical Encyclopedia*, BUD, Robert, WARNER, Deborah Jean (dir.), Garland Pub, New-York, 1998 ; JOERGES, Bernward, SHINN, Terry (dir.), *Instrumentation between science, state and industry*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2001 ; SCHAFFER, Simon, « Where experiments end : tabletop trials in Victorian astronomy », in *Scientific practice : theories ans stories of doing physics*, Chicago & London , The University of Chicago Press, 1995, p. 257-299 ; SHINN, Terry, «La science en France», *1975-1999, Sociologie et société*, 32, n°1, printemps 2000 ; *The Values of Precision*, WISE, Norton (dir.), Princeton University Press, 1995.

établissements devenant ainsi des lieux privilégiés pour la détermination du temps, des distances, etc. : le développement de la métrologie va donc marquer considérablement la science du XIX^{ème} siècle, jouer un rôle déterminant dans la construction des différentes communautés scientifiques, et façonner les disciplines scientifiques telles qu'elles apparaîtront au cours du siècle.

Dans quelle mesure l'astronomie physique a-t-elle participé de ce mouvement ? L'acte d'observation, caractéristique d'une pratique de l'astronomie de position, a-t-il été renouvelé par une pratique du laboratoire, notamment dans l'élaboration de techniques traditionnellement vues comme fondatrices de l'astronomie physique, telles la spectroscopie, la polarimétrie, la photométrie ? Quelle place la photographie a-t-elle joué dans cette rencontre entre le laboratoire et l'observatoire ? L'acte de mesure a-t-il abouti à la cristallisation de pratiques communes, préalable à la création d'une communauté scientifique particulière ? L'ensemble de ces questions ne peut trouver de réponse que par l'identification des savants et des réseaux impliqués, et par la caractérisation des cultures qui les portent[31]. Mais aussi par l'étude des transferts de savoirs et de savoir-faire entre physiciens et astronomes, par une étude des possibilités d'innovation dans le contexte scientifique français. Charles Fabry, l'un des acteurs de cette astronomie physique française au début du XX^{ème} siècle, interroge particulièrement ce point lorsqu'il écrit en 1935 dans un ouvrage de vulgarisation qui vise à expliciter les rapports entre physique céleste et physique terrestre :

> Il a pu sembler pendant longtemps que la Physique et l'Astronomie étaient deux sciences entièrement distinctes, l'une basée entièrement sur *l'observation*, l'autre sur *l'expérience*. Un instant de réflexion montre que cette opinion serait complètement fausse et ne peut être basée que sur un aperçu trop superficiel. Les deux sciences sont, en réalité, intimement liées, elles l'ont été dans le passé,elles le sont de plus en plus. Dans le passé, c'est surtout l'Astronomie qui a rendu des services à la Physique […]. Mais depuis, la dette des physiciens envers les astronomes a été largement payée. Chacun des phénomènes découverts dans le laboratoire cosmique a pu être reproduit, étudié, mesuré au laboratoire humain mieux qu'il ne l'avait été dans le ciel […].[32]

Cette dichotomie entre laboratoire et observatoire, entre « laboratoire humain » et « laboratoire cosmique », trouve chez Fabry un point de convergence dans l'idée de reproduction des phénomènes célestes, acte important que nous chercherons à préciser dans

---

[31] Charlotte Bigg a posé les jalons de cette étude pour le cas français dans sa thèse soutenue en 2002 à Cambridge : BIGG, Charlotte, *Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe*, Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002.

[32] FABRY, Charles, *Physique et Astrophysique*, Flammarion, Paris, 1935, p.127-128.

notre travail, pour différencier la précision par l'image et la précision par la mesure qui ont marqué l'astronomie physique française.[33]

Méthode et périodisation

Au regard des problématiques posées ci-dessus, et de la pertinence d'une étude approfondie de l'astronomie physique française au XIX^{ème} siècle, notre travail a donc consisté à définir les conditions d'émergence d'un champ scientifique. En 1976, Gerard Lemaine, Roy Macleod, Michael Mulkay et Peter Weingart, ont suggéré des pistes méthodologiques et épistémologiques d'un travail qui s'intéresserait à l'émergence des disciplines scientifiques.[34] Ils insistent notamment sur la nécessité de regards multiples sur la question : « Il ne fait aucun doute que, à la fois le cours et la direction du développement scientifique sont influencés par des facteurs aussi bien sociaux qu'intellectuels. »[35] L'attention doit donc se porter à la fois sur les contenus scientifiques, l'apparition de journaux spécialisés, l'organisation de la science à l'endroit de l'innovation, le contexte institutionnel et social.

Aujourd'hui la question est portée plutôt vers la notion de 'régimes de savoirs', et est le résultat d'études menées par des historiens ou des sociologues des sciences. Terry Shinn, par exemple, définit quatre régimes de recherche scientifique et technique : régimes disciplinaire, transitaire, utilitaire et transversal[36], ces quatre régimes pouvant d'ailleurs coexister. Le premier régime est celui de l'apparition, de la maturité voire du déclin de disciplines comme

---

[33] Peter Galison a particulièrement étudié ce point. Voir : GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, University of Chicago Press, 1997. Sur l'image, voir aussi : DASTON, Lorraine, GALISON, Peter, « The image of objectivity », *Representations*, vol.40, 1983, p.82-128 ; SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, 1994 ; SICARD, Monique, *La Fabrique du Regard*, Edition Odile Jacob, Paris, 1998 ; ALLAMEL RAFFIN, Catherine, *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse soutenue le 26 novembre 2004 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I.

[34] *Perspectives on te emergence of scientific discipines*, LEMAINE, Gerard, MACLEOD, Roy, MULKAY, Michael, WEINGART, Peter, Mouton & Co., The Hague et Maison des Sciences de l'Homme, Paris, et Aldine Publishing Company, Chicago, 1976. Cet ouvrage rassemble des études de cas portant sur la chimie agricole, la thermodynamique, la chimie physique, la médecine tropicale, la biophysique, la cristallographie des protéines, la radioastronomie, la recherche par radar des météores.

[35] « There can be no doubt that both the rate and the direction of scientific development are influenced by social as well as by intellectual factors », *Ibid.*, p.14.

[36] Voir par exemple : JOERGES, Bernward, SHINN, Terry (dir.), *Instrumentation between science, state and industry*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2001 ; SHINN, Terry, «La science en France», *1975-1999, Sociologie et société*, 32, n°1, printemps 2000 ; DUBOIS, Michel, « La matérialité de la pratique scientifique », in « Ces instruments qui font la science », *Hors-série Science et Avenir*, n°140, octobre-novembre 2004, p.58-62.

l'astronomie, la chimie, la géologie, la physique, etc. Le régime transitaire est celui dans lequel des « opportunités intellectuelles, techniques et professionnelles ont lieu parfois à la limite qui sépare la science orthodoxe du domaine de l'ingénierie »[37]. Ce régime est marqué par des allers-retours des savants d'un champ à un autre, basant « leur choix de thèmes de recherche sur les critères d'une discipline, et à un autre moment sur les critères d'un champ différent. […] Des perspectives se sont offertes, et le chercheur a changé de territoire. Mais son itinéraire reste bien circonscrit »[38]. C'est dans ce régime que Shinn identifie la naissance de sous-disciplines comme l'astrophysique. Le régime utilitaire, pour sa part, intéresse des activités et des lieux très hétérogènes (artisans, techniciens, scientifiques, ingénieurs,…ateliers, entreprises, maisons d'ingénieurs, armée, université, …) et souligne les retombées économiques rendues possibles par les résultats matériels ou intellectuels qui ont été obtenus. Enfin, le régime transitaire est caractérisée par trois points principaux : la production d'instruments de souche (des instruments dits génériques qui auront la possibilité de circuler d'une sphère d'activités à une autre), l'appartenance à une communauté interstitielle (dont l'identité n'est pas limitée par l'organisme dont elle dépend), et les travaux de métrologie (conférant aux instruments de souche un caractère quasi universel, et aboutissant à des normes et à une standardisation permettant la communication entre des champs scientifiques et technologiques différents). Ainsi, Shinn tente de définir les modalités de ce qu'il nomme une recherche dite « technico-instrumentale ».

D'un autre côté, Dominique Pestre avance que « la notion de régimes de savoirs évoque un assemblage d'institutions et de croyances, de pratiques et de régulations politiques et économiques qui délimitent la place et le mode d'être des sciences »[39]. Chaque moment historique voit une articulation particulière de ces différents éléments. Ainsi émerge l'idée, non d'un rapport simple entre science et technique, mais bien plutôt d'une « technoscience » marquée par une multiplicité d'espaces de production des savoirs, par une pluralité des lieux de science (observatoire, laboratoire, terrain, journaux, correspondances, etc.[40]) : « Les lieux dans lesquels s'élaborent les sciences modèlent en effet étroitement ce qui est fait ou écrit, ils nous disent pourquoi la science prend tel chemin ici, et pourquoi elle fait des choix opposés

---

[37] SHINN, Terry, «La science en France», *1975-1999, Sociologie et société*, 32, n°1, printemps 2000, p.7.
[38] *Ibid.*
[39] PESTRE, Dominique, *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*. INRA, Paris, 2003, p.36.
[40] Voir par exemple sur ce point : AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633.

ailleurs : ils constituent le meilleur moyen d'approche pour comprendre la dynamique des sciences dans l'histoire »[41].

Ces considérations sur la notion de régimes de savoirs nous ont apporté de réelles pistes de recherches. Pour autant, l'étude de l'émergence d'une discipline au XIX^{ème} siècle rencontre certains obstacles, ou certaines spécificités. En effet, Matthias Dörries a pu montrer comment une image « géopolitique » traditionnelle des disciplines scientifiques, (celles-ci montrant des frontières nettes comme les pays sur une carte géopolitique) renvoie l'activité scientifique à des formes institutionnelles déjà « cristallisées », et ne rend pas compte de la réalité des pratiques quotidiennes des scientifiques.[42] Pour le cas de la France, Matthias Dörries a mis en relief le fait que, en dépit de la démarcation affichée dans les discours depuis le XVIII^{ème} siècle, un flou disciplinaire marque *dans la pratique* la physique et la chimie : « […] *rationnellement (et historiquement)*, les scientifiques se distinguent entre eux, mais *en pratique* il n'y eut ni deux disciplines occupant des espaces séparés, ni une frontière simple entre deux domaines »[43]. Voilà pourquoi Dörries propose de s'intéresser au style, ou plutôt à la méthode, qui marque les pratiques individuelles, en rapport avec les espaces des structures disciplinaires institutionnalisées : cette façon de penser lui paraît plus adaptée à un XIX^{ème} siècle qui connaît des changements rapides, notamment celui du passage de pratiques individuelles à des pratiques et des standards collectifs.[44]

Robert Fox évoque lui aussi cette focalisation sur les pratiques et les motivations individuelles : « Je crois, alors, qu'il ne peut y avoir aucun doute sur l'importance immense que sont la détermination et l'initiative manifestées par quelques individus dans la science

---

[41] PESTRE, Dominique, « Lieux de sciences », numéro spécial de *La Recherche*, coordonné par Dominique Pestre, n°300, juillet-août 1997, p.26. Voir aussi : PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992 ; PESTRE, Dominique, « Les sciences et l'histoire aujourd'hui », *Le Débat*, novembre-décembre 1998, p.53-68 ; PESTRE, Dominique, « Entre tour d'ivoire et Silicon Valley », *La Recherche*, n°326, décembre 1999, p.55-58.

[42] DORRIES, Matthias, «Easy Transit : Crossing Boundaries and Chemistry in mid-Nineteenth Century France», in SMITH, Crosbie, AGAR, Jon (dir), *Making Space for Science*, Manchester, 1998, p.246-262.

[43] « […] *rationally (and historically)* scientists distinguished between them, but *practically* there were neither two disciplines occupying two separate spaces, nor a simple borderline between two realms », *op.cit.*, p.247.

[44] Cet intérêt pour l'expérience individuelle est au cœur du projet de la micro-histoire qui a guidé, par exemple, Laetitia Maison dans sa thèse sur l'observatoire de Bordeaux. Voir : MAISON, Laetitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, Université de Bordeaux 1, 2004 ; REVEL, Jacques, « L'émergence de la micro-histoire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Sciences Humaines Editions, Auxerre, 1997.

française du XIX^{ème} siècle »[45]. Fox a contribué également à préciser le cadre institutionnel dans lequel ces 'individus' ont pu évoluer, en montrant les spécificités de la situation française par rapport aux autres pays.[46] Ainsi, toute étude sur cette époque doit prendre en compte la spécificité française du cadre que constituent, pour la reconnaissance de ces savants et le déroulement de leurs travaux, l'Académie des Sciences (AdS), l'Ecole Polytechnique, l'Ecole Normale Supérieure (ENS), la Sorbonne, le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), et pour l'astronomie l'Observatoire de Paris et le BdL, sans oublier également les sociétés savantes qui ont joué un rôle non négligeable au cours du siècle.[47]

Suivant cette approche, notre thèse a alors tenté de relever des itinéraires individuels marquants pour l'évolution de l'astronomie physique, avec le souci constant de contextualiser ces trajectoires dans le panorama scientifique et institutionnel français.[48] Ceci nous a permis de répondre à l'une des problématiques citées plus haut, à savoir la possibilité, ou non, d'une construction de la discipline au sein de l'établissement phare de l'astronomie française, l'Observatoire de Paris, et la description de trajectoires en dehors de ce lieu. Pour cela, il nous a fallu déterminer les limites chronologiques de notre étude. Nous n'avons pas remis en question l'avis souvent partagé par les historiens des sciences : une période nouvelle s'ouvre à

---

[45] FOX, Robert, « Scientific enterprise and the patronage of research in France, 1800-1870 », in FOX, R., TURNER, G. L'Estrange, *The patronage of science in the nineteenth century*, Noordhoff International Publishing, Leyden, 1976.

[46] *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambride University Press, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, Paris, 1980 ; FOX, Robert, GUAGNINI, Anna, « Laboratories, workshops, and sites. Concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914 », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 29 (1998-1999). Sur ce point, voir aussi : SHINN, Terry, « Progress and paradoxes in the French science and technology 1900-1930 », *Social Science Information*, vol.28, 1989, p.659-683 ; SHINN, Terry, *L'Ecole Polytechnique : 1794-1914*, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, Paris, 1980 ; *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994*, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994 ; ZWERLING, Craig, « The emergence of the Ecole Normale Superieure as a centre of scientific education in nineteenth-century », in *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambride University Press, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, Paris, 1980, p.31-60 ; HULIN, Nicole, « Un pôle scientifique. La section des sciences de l'Ecole normale supérieure. Quelques jalons de son histoire », in *Livre du Bicentenaire de l'Ecole normale supérieure*, SIRINELLI, J.F. (dir.), Paris, PUF, 1994, CHARLE, Christophe, « Produire et diffuser les idées. Les arcanes de la reconnaissance universitaire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Sciences Humaines Editions, Auxerre, 1997, p.21-30.

[47] Voir par exemple : CHALINE, Jean-Pierre, *Sociabilité et Erudition, les Sociétés Savantes en France*, Paris, Editions du CTHS, 1998.

[48] Pour cela, les tables générales des *CRAS* (disponibles sur le site Gallica) ont été un outil précieux, si l'on admet que les *CRAS* constituent le meilleur indicateur de l'activité scientifique à ce moment. De même, les *Catalog of Scientific Papers* publiés par la Royal Society of London nous ont permis de constituer des bibliographies précises sans nous limiter aux publications des savants dans des revues françaises (*Catalog* disponibles également sur Gallica, pour la période 1800-1900). Pour les astronomes français, le *Dictionnaire des astronomes français* de Philippe Véron nous a été également extrêmement utile. Une publication de cet ouvrage serait plus que nécessaire pour de futurs travaux.

l'étranger comme en France avec les travaux spectroscopiques de Kirchhoff et Bunsen. Si des tentatives d'application de découvertes faites en physique dans le domaine de l'astronomie ont eu lieu avant l'émergence de l'analyse spectrale (comme par exemple l'analyse polarisatoire de la lumière solaire par Arago), ces travaux n'ont pas eu les répercussions que la spectroscopie a pu susciter, et apparaissent donc isolés et sans influence sur l'évolution de l'astronomie physique[49]. Nous avons dû cependant tester ces hypothèses dans le travail bibliométrique effectué dans les *CRAS* (voir annexe 1), par un regard exhaustif des rubriques 'astronomie physique' et 'spectroscopie' : le milieu du XIX^{ème} constitue une période de changement évidente.

Si notre idée première était une étude plus resserrée autour des précurseurs de l'astronomie physique, nous avons décidé de poursuivre notre étude jusqu'à la première Guerre mondiale. En effet, l'analyse bibliométrique préalable que nous avons réalisée a montré l'existence d'un groupe plus ou moins homogène, qui a fait vivre l'héritage de certains précurseurs. Ainsi, à côté de la figure, aujourd'hui reconnue mythique, que représente Jules Janssen (notamment pour l'héritage visible qu'il laisse avec l'observatoire de Meudon), d'autres scientifiques ont investi le nouveau champ qu'a constitué l'astronomie physique. Beaucoup d'entre eux se sont formés à l'Ecole Polytechnique et ont été les élèves d'Alfred Cornu, figure marquante de la physique française à cette époque. Cette présence polytechnicienne tranche d'ailleurs avec la forte représentativité normalienne à l'Observatoire de Paris au même moment, ce qui nous a conduit à repousser la fin de notre recherche en 1914, de façon à préciser comment des personnages comme Henri Deslandres, Charles Fabry, Alfred Pérot, Emile Belot ou même Henri Poincaré ont participé à donner sa spécificité à la discipline. De même, nous avons cherché à regarder si l'OP avait accueilli des travaux en astronomie physique : nous détaillerons, pour les différentes périodes, la nature et la portée des travaux des Charles Wolf, Georges Rayet, Louis Thollon, Maurice Hamy, Pierre Salet ou Charles Nordmann, pour n'en

---

[49] Il en va de même pour les travaux spectroscopiques de Fraunhofer en Allemagne. Si celui-ci a pu pointer ses appareils vers les étoiles, ses recherches sont sans rapport avec la brèche ouverte par Kirchhoff et Bunsen. Sur l'histoire de la spectroscopie, voir : SCHELLEN, Heinrich, *Spectrum Analysis in its application to terrestrial substances*, Londres, Longmans,1872 ; CAZIN, Achille, *La Spectroscopie*, Paris, Gauthier-Villars, 1878 ; SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie*, Paris, Masson, 1888 ; SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909 ; HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of Starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 ; MAC GUCKEN, W., *Nineteenth Century Spectroscopy, Development of the Understanding of Spectra 1802-1897*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1970 ; SAILLARD, Michel, "Histoire de la Spectroscopie, De la théorie de la lumière et des couleurs de I.Newton (1672) à la découverte de l'effet Zeeman (1897)", *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, N°26, 1988 ; HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002.

citer que quelques uns. La première Guerre mondiale a donc constitué la fin de notre étude, tant le paysage scientifique s'est trouvée modifié après cet événement. Dans le domaine de la physique, Pestre note effectivement comment, après 1918, « la taille des groupes concernés, l'ampleur des travaux, les manières de faire, les outils conceptuels et matériels utilisés, le dynamisme même diffèrent notablement »[50]. De la même façon, le paysage astronomique français est en pleine restructuration après la Grande Guerre. De nouveaux acteurs vont investir la discipline, une réflexion s'engage sur la nécessité de renouveler l'astronomie française pour la recadrer sur le modèle américain : « A partir du début des années 1920, une « crise » paraît déstabiliser l'astronomie française. Ce n'est certes pas la première fois que cet épouvantail est agité. Pourtant la situation est alors perçue comme assez critique pour que sous l'injonction du Ministère de l'Instruction publique, l'Académie des Sciences forme une commission chargée d'établir un programme pour le « relèvement » des études astronomiques en France »[51]. Enfin, le changement après la Grande Guerre est visible avec la création d'établissements nouveaux (tels l'Institut d'Optique, l'Institut du Radium, futur Institut Curie, ou ce qui aboutira au CNRS), changements dans lesquels apparaîtra réellement l'astrophysique française, sous l'impulsion de Jean Perrin (alors sous-secrétaire d'Etat à la Recherche scientifique) et la construction de l'observatoire de Haute-Provence.

Ainsi, entre 1860 et 1914, peut-on repérer des phases distinctes, des périodes clairement définies pendant lesquelles l'astronomie physique va évoluer ? On peut d'ailleurs interroger la pertinence d'une telle question : peut-on trouver des éléments de rupture dans la continuité des travaux réalisés ? Michel Foucault avait déjà soulevé cette problématique : « En somme, l'histoire de la pensée, des connaissances, de la philosophie, de la littérature, semble multiplier les ruptures et chercher tous les hérissements de la discontinuité, alors que l'histoire proprement dite, l'histoire tout court, semble effacer, au profit des structures sans labilité, l'irruption des événements »[52].

Pour le cas qui nous intéresse, deux moments particuliers, à l'intérieur des limites de notre étude, nous ont permis de définir trois périodes dans la construction de l' astronomie

---

[50] PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992, p.XXV.

[51] SAINT-MARTIN, Arnaud, « La phase critique de la Carte du Ciel à Paris, 1920-1940 », in LAMY, Jérôme, *La Carte du Ciel*, Paris, EDP Sciences, à paraître. Sur le relèvement des études astronomiques en France, nous discuterons dans la dernière partie la place prise par Deslandres dans cette 'prise de conscience' : DESLANDRES, Henri, *Sur l'amélioration des études astronomiques en France*, Imp. H. Tessier, Orléans, 1926.

[52] FOUCAULT, Michel, *L'archéologie du savoir*, Gallimard, Paris, 1969, p.13.

physique. Tout d'abord, on assiste, autour des préparatifs du passage de Vénus en 1874, à des positionnements scientifiques et institutionnels qui vont aboutir à la création en France d'un observatoire spécialement dédié à l'astronomie physique, distinct de l'Observatoire de Paris par son rattachement administratif et par ses buts scientifiques. Ceci constitue un moment charnière, car il cristallise les efforts réalisés entre 1860 et 1874 par Janssen notamment, mais il montre aussi l'existence, avec Cornu, d'une autre façon d'envisager la discipline. Ensuite, il se passe autour de 1895 un grand nombre d'événements qui vont aussi se trouver marquants : avec en toile de fond la création de l' *Astrophysical Journal* en 1895 (revue dont Cornu est le seul français membre du comité éditorial) et la mort de Fizeau en 1896, on observe un investissement important du groupe de polytechniciens qui, avec l'arrivée de Deslandres à l'Observatoire de Paris et son passage à Meudon en 1896, va marquer la discipline par son caractère expérimental dans la lignée des idées de Fresnel.

Finalement, notre travail a amené à distinguer trois périodes dans la construction de l'astronomie physique en France :

- Entre 1860 et 1874, on observe que cette science est en gestation. Elle va s'enraciner en France dans un contexte particulier, marqué par une physique française empreinte des travaux d'Augustin Fresnel en optique. Il nous a semblé indispensable de définir ce terreau épistémologique, en précisant les filiations scientifiques, les héritages qui se transmettront, ceci de façon à comprendre la réceptivité, en 1860, des travaux de Kirchhoff et Bunsen dans les milieux de l'astronomie et de la physique. Nous montrerons de quelle façon l'astronomie physique en France n'a pas différé des autres pays dans ses buts et ses méthodes, mais aussi ce qui a pu empêcher qu'elle se développe dans les observatoires traditionnellement dévolus à l'astronomie de position. Ainsi apparaîtra la pertinence et la place de Jules Janssen pour la discipline.

- Dans une deuxième partie qui traite la période allant de 1874 à 1895, nous caractériserons les approches différentes manifestées par Janssen et Cornu. Entre une science humboldtienne et une science métrologique, entre l'observatoire de Meudon et l'Observatoire de Paris, entre précision de l'image photographique et précision de la détermination des longueurs d'onde, nous mettrons en relief les travaux de Henri Deslandres qui devient progressivement le chef de file de la discipline, en développant des pratiques intermédiaires.

- Enfin, pour la période allant de 1895 à 1914, nous décrirons l'articulation entre expériences de laboratoire et pratique de l'observatoire manifestée par les élèves de Cornu. Nous verrons l'importance du renouveau des idées cosmogoniques dans l'astronomie physique française, ainsi que la manière dont l'approche physicienne et les spécificités de la communauté particulière qui l'incarne, via Cornu, se sont retrouvées opérantes dans la construction de l'astronomie physique. Comme dans les deux premières parties, nous montrerons l'existence d'une astronomie physique au sein de l'Observatoire de Paris en précisant les limites de son influence en France.

Partie 1

Une science en gestation (1860-1874)

1.1 D'une physique nouvelle à la nouvelle astronomie : enracinement épistémologique d'une discipline

Si l'on trouve souvent dans la littérature contemporaine l'année 1859 prise comme point de départ de l'AP, c'est que les travaux de Kirchhoff et Bunsen élucidant la présence de raies noires dans le spectre solaire ont profondément marqué les scientifiques de l'époque, inaugurant ainsi une nouvelle période scientifique qui se distingue par une grande moisson de résultats tant en physique qu'en chimie. Ainsi, notre étude débute à ce tournant du XIX^{ème} siècle, au moment où l'analyse spectrale fait irruption de façon profonde et systématique dans les laboratoires. Ce premier chapitre vise donc à décrire le contexte scientifique français impliqué dans des problèmes tenant de la physique et de l'astronomie à ce moment, de façon à mieux comprendre les enjeux scientifiques, épistémologiques mais aussi institutionnels qui marqueront les recherches futures.

Bien évidemment, l'intérêt des physiciens français pour l'analyse spectrale n'est pas apparu *ex nihilo*, certains scientifiques, comme Léon Foucault, s'étant longuement penchés sur la question des raies spectrales. Le dénominateur commun des physiciens qui, au milieu du XIX^{ème} siècle, vont investir ce nouveau champ est assurément François Arago, non tant pour ses travaux de physique appliquée au domaine des astres que pour la rupture avec la physique laplacienne qu'il va effectuer avec l'aide d'Augustin Fresnel notamment. Ce renversement de paradigme et la place que l'optique va prendre dans cette nouvelle physique marqueront un courant particulier de physiciens expérimentalistes, d'Hippolyte Fizeau à Charles Fabry, en passant par Alfred Cornu.

Nous tenterons donc de montrer quelle est la nature de cette rupture effectuée par Arago, pour nous intéresser ensuite à son héritage direct. Enfin, nous décrirons l'importance des travaux de Kirchhoff et Bunsen et la perception que les physiciens français en ont eue.

1.1.1 De la physique laplacienne à la physique fresnélienne

En 1805, Jean-Baptiste Biot publie son *Traité élémentaire d'astronomie physique*. Cet ouvrage, qui verra une seconde édition en 1810 et une troisième en 1857, est dédié à M. Laplace car « C'est vous qui m'avez engagé à l'entreprendre ; c'est dans vos écrits que j'en ai puisé les matériaux : enfin, vos conseils m'ont soutenu dans l'exécution »[53]. Son traité, destiné à combler le manque d'instruction astronomique des classes de lycées, est divisé en cinq livres : le premier expose les phénomènes généraux (détermination du méridien, de la figure de la Terre, des différents points de la surface de la Terre, des parallaxes stellaires, …) ainsi que les divers moyens d'observation (baromètre, quart-de-cercle mural, horloge, sextant, cercle à réflexion, boussole, …). Les quatre autres livres traitent du Soleil, de la Lune, des planètes, comètes et satellites, et des applications de l'astronomie, c'est-à-dire de l'astronomie nautique. L'étude de l'atmosphère est un préalable de l'observation : source d'illusions, elle doit faire l'objet d'expériences physiques de façon à estimer les erreurs de mesure réalisées sur les positions des astres.
Biot, véritable garant de l'orthodoxie laplacienne, poursuit ainsi le programme de son maître, à savoir l'établissement d'une physique globale des forces intramoléculaires dictée par la théorie newtonienne de l'attraction. Roger Hahn note de quelle façon l'AP a pris place dans le travail de Laplace : il s'agit de trouver une explication mécanique, et non plus métaphysique, à la formation du système solaire. L'attraction est vue, chez Laplace, comme un phénomène général pouvant être soumis au calcul, à l'analyse. Hahn précise alors que Laplace, entre 1789 et 1797, va passer de l'expression « astronomie physique » à celle de « mécanique céleste » pour décrire une philosophie que Hahn qualifie déjà de « positiviste ».[54]

Laplace, jusqu'en 1815, est ainsi un des chefs de file de la science française, regroupant alors autour de lui un grand nombre de savants comme Berthollet, Biot, Poisson, Malus ou Gay-Lussac, lui permettant de contrôler la recherche et l'enseignement scientifique français[55]. Cependant, à partir de 1815, des contestations se font jour et une opposition emportée par

---

[53] BIOT, Jean-Baptiste, *Traité élémentaire d'astronomie physique*, Paris, 1810, 2nde édition, p.iv.
[54] Lettre de Laplace à Le Sage datée du 17 germinal an V [6avril 1797], citée in HAHN, Roger, *Le système du monde. Pierre Simon Laplace. Un itinéraire dans la science*, Gallimard, 2004, p.141.
[55] Voir notamment FOX, Robert, « The rise and fall of Laplacian physics « , *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, 1974, p.89-136 ; DAVIS, J.-L., «The influence of astronomy on the character of physics», *Historical Studies in the physical sciences*, 16, 1986, p.59-92 ; HAHN, Roger, *Le système du monde. Pierre Simon Laplace. Un itinéraire dans la science*, Gallimard, 2004 ; « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde. », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001.

François Arago se crée. Celui-ci se rallie en effet à partir de cette date aux idées de Fresnel qui, guidé par ses expériences sur la diffraction de rayons lumineux, remet en cause la théorie corpusculaire à laquelle adhère le clan laplacien, et en vient à faire revivre la théorie ondulatoire abandonnée depuis Huyghens[56]. Arago devient donc l'un des savants les plus vigoureux sur le front anti-laplacien, définitivement converti à la théorie ondulatoire de la lumière par Fresnel, qu'il soutient à l'AdS et avec qui il engage une collaboration scientifique fructueuse[57], participant donc au délitement du programme laplacien évoqué par Hahn[58]. Il est important de noter qu'Arago comme Fresnel sont issus de l'Ecole Polytechnique, temple, à l'époque, de l'approche laplacienne de la science, c'est-à-dire caractérisée par une mathématisation de la physique expérimentale. Arago en vient donc dans les années 1810 à rejeter la théorie corpusculaire et voit sa relation avec Biot se transformer en une franche opposition, eux qui, au cours des années 1806 et 1807, avaient travaillé ensemble pour la mesure d'un arc de méridien en Espagne.

Hugues Chabot note ainsi comment Arago aspire à une autre approche, « celle universelle de son fidèle ami naturaliste, Alexandre de Humboldt, avec lequel, à l'époque, il partage le gîte »[59]. Humboldt lui-même, lorsqu'il écrit la biographie de son proche ami Arago, note qu' « Un voyageur dont la vie est consacrée aux sciences, s'il est né sensible aux grandes scènes de la nature, rapporte d'une course lointaine et aventureuse non-seulement un trésor de souvenirs, mais un bien plus précieux encore, une disposition de l'âme à élargir l'horizon, à contempler dans leurs liaisons mutuelles un grand nombre d'objets à la fois »[60]. C'est une pratique universaliste basée sur une culture du voyage qui s'incarne avec Humboldt et Arago et qui déterminera, nous le verrons par la suite, une façon de pratiquer l'AP à la génération suivante. Dans sa biographie, Humboldt fait également l'inventaire des travaux scientifiques d'Arago. L'universalisme d'Arago l'amène à pratiquer une « physique du ciel et de la terre »[61], porté par la conviction que les phénomènes observés sur Terre sont de même nature, physique et chimique, que ceux observés dans l'Univers. Ses recherches vont porter majoritairement sur l'optique, « ses découvertes en électricité et en magnétisme, si

---

[56] MAITTE, Bernard, « Les bricolages prometteurs d'un jeune exilé », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.60-69 ; *La lumière*, Editions du Seuil, Paris, 1981.

[57] Voir notamment CHABOT, Hugues, « Arago : à l'affût d'une théorie alternative », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.70-76.

[58] HAHN, Roger, *op.cit.*, p.165.

[59] *Ibid.*, p.72.

[60] HUMBOLDT, Alexandre de, « Introduction », in ARAGO, François, *Œuvres Complètes, publiées d'après son ordre et sous la direction de M. J.-A. Barral*, Gide, Paris, 1854-1862, p.viii

[61] *Ibid.*, p.ix

importantes qu'elles soient par elles-mêmes, ne l'ont occupé, pour ainsi dire, que passagèrement »[62]. Nous n'entrerons pas dans le détail des travaux d'Arago, ceci dépassant le cadre de notre étude, mais ne ferons que citer les sujets qu'il a traités, de façon à montrer l'aspect novateur de son approche, à savoir son caractère expérimental, instrumental en rupture avec le côté mathématique incarné par le programme laplacien dont Arago était pourtant issu. Humboldt, dans sa revue assez exhaustive, cite ainsi les recherches sur la détermination des diamètres planétaires, sur l'intensité comparative de la lumière des astres et de la lumière qui émane du bord et du centre du disque solaire, sur la polarisation chromatique et la « fécondité de ses applications dans la physique céleste et terrestre »[63] (constitution physique du Soleil et de ses diverses enveloppes, lumière polarisée des comètes, ….).

Fig. 1.1.1. : Polarimètre d'Arago ; résultats photométriques obtenus à l'aide de cet appareil.

Source : « Sixième mémoire sur la photométrie », in ARAGO, François, *Œuvres Complètes, publiées d'après son ordre et sous la direction de M. J.-A. Barral*, Gide, Paris, 1854-1862, tome 10, p.266 et 276.[64]

Hormis la photométrie et la polarimétrie, Arago est un fervent soutien de la photographie. C'est d'ailleurs lui qui incite le gouvernement à acquérir le procédé photographique de Louis-Jacques Mandé Daguerre et Nicéphore Niepce en échange d'une rente viagère versée à Daguerre et au fils de Niepce : le procédé est en effet divulgué au public par Arago le 19 août 1839[65]. Theresa Levitt a noté récemment les différences qui ont séparé Arago et Biot au sujet de la photographie, dans la lignée de leur opposition dans le domaine de l'optique : Biot était en effet plus porté vers le procédé papier de l'anglais Henry Fox Talbot tandis qu'Arago a soutenu le procédé sur plaque de cuivre appelé aussi daguerréotype[66]. Levitt a mis en relief de quelle façon ces choix étaient portés par des considérations épistémologiques fortes sur la valeur de cette nouvelle technique. Alors qu'Arago recherchait la précision géométrique et le réalisme, Biot voyait la photographie comme un moyen d'explorer le monde invisible des

---

[62] *Ibid.*, p.xvii.
[63] *Ibid.*, p.xxiv.
[64] Sur le travail d'Arago concernant la polarisation en astronomie, voir : DOUGHERTY, L.M., DOLFFUS, A., « F.D. Arago's polarimeter and his original observation of extraterrestrial polarisation in 1811 », *Journal of the British Astronomical Association*, vol.99, 1989, p.183-186.
[65] AMAR, Pierre-Jean, *Histoire de la Photographie*, PUF, Collection «Que sais-je», Paris, 1997, p.15.
[66] LEVITT, Theresa, « Biot's paper and Arago's plates. Photographic practice and the transparency of representation », *Isis*, 94, 2003, p.456-476.

rayonnements chimiques (c'est-à-dire des rayonnements provoquant une action sur une surface photosensible) qu'il étudiait alors. Pour Arago, la photographie donnait une image réaliste du monde, et, par conséquent, pouvait être pratiqué par tout un chacun, y compris par les scientifiques. Ceci rejoint bien évidemment le caractère vulgarisateur qu'a toujours manifesté Arago, lui qui a ouvert l'Académie des Sciences au public et initié la publication des *CRAS* à partir de 1835, et qui a longtemps professé, à l'OP, un cours public d'astronomie. Mais, pour Biot, Arago est le promoteur d'une 'science subalterne'[67] : Biot pense en effet que le procédé photographique doit être réservé aux initiés et qu'il doit être le fruit d'un long apprentissage. La surface photosensible est pour lui l'équivalent d'un capteur, la photographie scientifique ne devant pas être assimilée à une œuvre artistique : Levitt souligne le fait que, pour Biot, la photographie est moins une représentation qu'une forme de communication avec le monde invisible des radiations[68]. Ainsi, alors que Biot se méfie de la réalité de l'image photographique et pose que la représentation photographique d'un objet ne nous donne qu'une image superficielle de cet objet, Arago intègre rapidement le procédé photographique à sa démarche scientifique. Il chargera notamment le constructeur Lerebours d'intégrer la nouvelle technique à l'OP, et utilisera la première photographie du Soleil réalisée par Fizeau et Foucault pour vérifier l'assombrissement de l'astre à ses bords.

L'analyse faite par Levitt sera, nous le verrons, pertinente tout au long du XIX^{ème} (voir le chapitre 2.1 sur la place de la photographie dans l'observation du passage de Vénus en 1874) et montre à quel point l'insertion d'une nouvelle technique est sujette à discussion dans le milieu scientifique : la photographie, en particulier, a mis beaucoup de temps pour perdre son caractère artistique et devenir une auxiliaire des travaux de laboratoire. En ce sens, le daguerréotype promu par Arago cédera tardivement sa place au gélatino-bromure d'argent, grâce à, ou à cause de, la précision des images qu'il permettait. Ce souci de la précision est d'ailleurs l'un des traits principaux relevés par J.-L. Davis pour expliquer le primat de l'optique dans le milieu physicien français au cours du XIX^{ème} siècle[69]. Car, cette science, délaissée quasiment partout ailleurs qu'en France, a continué au cours du siècle, à être le principal objet de recherche des physiciens français. Pour Davis, ce trait s'explique par la hiérarchie des sciences mise en valeur en France, plaçant l'astronomie en haut de l'échelle par son caractère le plus abouti mathématiquement, lui apportant un statut social important.

---

[67] *Ibid.*, p.459.
[68] *Ibid.*, p.463.
[69] DAVIS, J.-L., «The influence of astronomy on the character of physics», *Historical Studies in the physical sciences*, 16, 1986, p.59-92.

L'astronomie est un modèle de précision, et l'optique, son corollaire, est restée une science importante, faisant dire à Davis qu'il vaut mieux parler d'un isolement des physiciens français vis-à-vis de leurs collègues étrangers dû à cette spécificité, plus qu'un déclin français. Ainsi, la culture française de la précision dans le domaine de la physique est à chercher dans la tradition astronomique française, l'OP représentant donc une institution importante et un lieu de convergences entre la physique et l'astronomie.

Davis note comment Fresnel a trouvé en Arago un soutien pour son travail en optique. C'est en 1815 que celui-ci publie son premier mémoire sur la diffraction, où il adhère à la théorie ondulatoire de la lumière. Beaucoup de commentateurs font remarquer ce qui caractérise l'approche fresnélienne des phénomènes physiques : il s'agit d'une approche expérimentale, requérant savoir-faire et habileté manuelle, et se méfiant des procédés mécaniques de fabrication des instruments. Charlotte Bigg note par exemple comment cette attitude instrumentale et expérimentale va déterminer les physiciens opticiens jusqu'au XX^{ème} siècle, tandis que Bernard Maitte souligne comment Fresnel a travaillé et innové « avec les moyens du bord »[70]. Sur le plan scientifique, Fresnel est bien connu pour avoir, suite à son adhésion à la théorie ondulatoire de la lumière, montré le caractère transversal de ces ondes. Ses travaux en optique feront dire à Alfred Cornu, quelque quatre-vingts ans plus tard, que « l'histoire de l'Optique acquiert une portée philosophique considérable ; elle devient l'histoire des progrès successifs de nos connaissances sur les moyens que la Nature emploie pour transmettre à distance le mouvement et la force.[…] Elle a ramené insensiblement à la conception d'un milieu unique remplissant l'espace, siège des phénomènes électriques, magnétiques et lumineux ; elle laisse entrevoir que ce milieu est le dépositaire de l'énergie répandue dans le monde matériel, le véhicule nécessaire de toutes les forces, l'origine même de la gravitation universelle »[71]. Cornu évoque ainsi de quelle façon l'étude du milieu matériel et élastique, l'éther, va se révéler indispensable pour poursuivre l'œuvre de Fresnel. L'étude des interférences joue également un rôle prépondérant dans cette nouvelle physique : Cornu souligne comment l'expérience des deux miroirs, où la lumière provenant de deux sources de même nature interfère pour produire soit de la lumière soit de l'obscurité, a pu jouer le rôle

---

[70] MAITTE, Bernard, « Les bricolages prometteurs d'un jeune exilé », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.66 ; BIGG, Charlotte, «Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe», Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002, p.15. Voir aussi : FABRY, Charles, « La vie et l'œuvre scientifique d'Augustin Fresnel », Conférence prononcée à la Sorbonne le 27 octobre 1927, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.644.

[71] CORNU, Alfred, « La théorie des ondes lumineuses : son influence sur la physique moderne », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.10, 1899, p.546-548.

d'*experimentum crucis* pour la nouvelle théorie. Charles Fabry, polytechnicien comme Fresnel et Arago, écrira en 1927 une biographie de Fresnel où il souligne qu' « Un des plus grands services qu'Arago ait rendus à la Science est de lui avoir conservé Fresnel »[72]. En effet, aidé par Arago, Fresnel impose définitivement ses idées en 1821 et devient académicien en 1823 : sa théorie permet d'expliquer les phénomènes de polarisation, d'interférences, la propagation de la lumière dans les cristaux… Et Fabry de noter, par le biais de Fresnel, sa propre filiation scientifique, et sa propre approche de la science (voir sur Fabry le chapitre 3.4) :

> [Fresnel] fut un grand ingénieur parce que, grand homme de science, il savait voir dans chaque question ses éléments essentiels ; il fut un grand physicien parce qu'il était grand ingénieur. Et si, pendant une partie du dix-neuvième siècle, la Physique française subit une véritable éclipse, n'est-ce pas justement parce que les physiciens de cette époque oublièrent la technique et laissèrent à d'autres, médiocres, le soin de construire leurs outils ?[73]

Ainsi, Fabry, qui deviendra l'un des représentants majeurs de l'AP à la veille de la première guerre mondiale, souligne la spécificité de la physique fresnélienne, et nous permet de pressentir de quelle façon l'AP française sera cultivée et façonnée par plusieurs générations d'ingénieurs polytechniciens.

1.1.2 Les héritiers d'Arago et Fresnel

François Sarda écrit à propos d'Arago que « son défaut de dispersion le punira »[74]. Ce trait est souvent noté chez les biographes d'Arago, complété par le fait que, outre son intérêt pour de nombreux sujets parfois seulement survolés, il incitera d'autres à réaliser les expériences qu'il imagine, plutôt que de les faire lui-même. Levitt note ainsi que, malgré son plaidoyer pour la photographie, Arago ne réalisera lui-même aucun daguerréotype[75]. De même, sa collaboration avec Fresnel montre qu'Arago est plus un 'accoucheur' d'idées que le réalisateur lui-même d'expériences ; Chabot note par exemple que « Fresnel conçoit les développements mathématiques, Arago livre ses connaissances encyclopédiques, son esprit critique et un

---

[72] FABRY, Charles, *op.cit*, p.643.
[73] *Ibid.*, p.652.
[74] SARDA, François, *Les Arago, François et les autres*, Tallandier, Paris, 2002, p.98.
[75] LEVITT, Theresa, « Biot's paper and Arago's plates. Photographic practice and the transparency of representation », *Isis*, 94, 2003, p.475.

nombre important de procédures expérimentales »[76]. Arago devient ainsi, comme le souligne Joseph Bertrand dès 1865, le « conseil et le guide de tous les jeunes physiciens »[77]. J.-L. Davis montre pour sa part que l'intérêt d'Arago pour l'optique assure à l'OP de rester le cœur du programme fresnélien, programme qui occupera la communauté physicienne française jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle[78] : les Babinet, Fizeau, Foucault, Faye, Becquerel, Jamin, puis les Desains, Verdet, Cornu ou Mascart, pour ne citer qu'eux, vont chercher à perfectionner la théorie ondulatoire initiée par Fresnel, mais aussi investir le champ des sciences que Davis qualifie d' 'humboldtiennes', à savoir le géomagnétisme, la météorologie, la géodésie, mais aussi l'astronomie, ce qui montre de quelle façon l'influence d'Humboldt sur Arago s'incarnera dans la pratique physicienne française. Davis avance même que certains physiciens paieront cher le fait de ne pas cultiver la science de l'optique, et se verront fermer les portes de l'Académie ou empêcher une carrière parisienne.

Jacques Babinet est l'un des continuateurs de l'œuvre de Fresnel. Polytechnicien de formation, il poursuit également l'œuvre vulgarisatrice d'Arago et Humboldt dans ses conférences publiques ou ses articles dans la *Revue des Deux Mondes* ou le *Journal des Débats*. La biographie écrite par Hugues Chabot montre de quelle façon il a contribué à faire vivre la théorie ondulatoire de la lumière[79]. En 1827, Babinet reprend les travaux de Fraunhofer sur les réseaux, les complète par de nouveaux dispositifs et calcule les longueurs d'onde des rayons lumineux qui interfèrent, voyant déjà, comme Chabot le souligne, « un étalon invariable de mesure »[80]. En 1839, Babinet présente un nouveau goniomètre qui permet la mesure de la dispersion de la lumière au travers d'un prisme. Ainsi, au mitan du XIX^{ème} siècle, Babinet est un spécialiste des recherches optiques, un savant respecté qui sera sollicité, comme nous le verrons au prochain chapitre, par le futur créateur de l'observatoire de Meudon, Jules Janssen.

Parmi les protégés d'Arago se trouve également Hervé Faye. Ce savant, assez méconnu aujourd'hui, a joué pourtant un rôle scientifique majeur tout au long du XIX^{ème} siècle, et incarne certainement le virage vers l'AP telle que celle-ci sera pratiquée à partir des années

---

[76] CHABOT, Hugues, *op.cit.*, p.76.
[77] BERTRAND, J., *Arago et sa vie scientifique*, Hetzel, Paris, 1865, p.26.
[78] DAVIS, J.-L., *op.cit.*, p.64.
[79] CHABOT, Hughes, « Jacques Babinet. Un savant vulgarisateur », in *Aventures scientfiques. Savants en Poitou-Charentes du XVI^{e} au XX^{e} siècle*, DHOMBRES, Jean (dir.), Les éditions de l'Actualité Poitou-Charentes, Poitiers, 1995, p.16-29.
[80] *Ibid.*, p.20.

1860. Faye, à l'instar d'Humboldt dont il traduira d'ailleurs le *Cosmos*, a englobé un grand nombre de sciences observationnelles : astronomie, géodésie, météorologie, géologie, … L'ensemble de ses biographes s'accordent à qualifier ainsi de 'considérable' son œuvre scientifique[81].

Faye, dont le père est ingénieur des Ponts et Chaussées, intègre tout d'abord l'Ecole Polytechnique en 1832, dont il fut renvoyé, « si l'on en croit la légende, […] pour avoir combattu au cloître Saint-Merry »[82]. Après une tentative de direction d'un établissement industriel en Hollande, puis un passage en Gascogne où il participe à fixer les dunes par des plantations de pins, Faye réalise qu' « il n'était pas fait pour l'industrie. Appelé par Arago, il entre à l'observatoire de Paris. »[83]. Ainsi, c'est sous l'impulsion d'Arago que Faye devient élève astronome à l'OP en 1836. Il est nommé astronome en 1843, reçoit le prix Lalande de l'AdS la même année pour sa découverte d'une comète périodique, devient académicien en 1847, membre du Bureau des Longitudes en 1862 (à la succession de Biot) puis président de ce même Bureau en 1876. Il retrouvera également le chemin de l'Ecole Polytechnique en y enseignant la géodésie de 1852 à 1854, « en remplacement de M. Chasles démissionnaire pour cause de fautes »[84], puis l'astronomie de 1873 à 1893. Dans l'intervalle, Faye occupe le poste de recteur de l'Académie de Nancy, mais aussi celui d' Inspecteur Général de l'Enseignement Supérieur de 1878 à 1888, et pendant un temps très court Ministre de l'Instruction Publique en décembre 1877 : « Son ministère avait duré 21 jours. Il abandonna la politique qui ne l'avait pas plus favorisé que l'industrie »[85]. A un niveau institutionnel, Faye fut donc, indubitablement, un personnage influent[86].

Sur le plan scientifique, ses travaux se partagent entre observation et théorie. En tant qu'observateur, Faye s'est distingué par ses études sur les comètes, et particulièrement la découverte en 1843 d'une comète périodique qui portera son nom. L'étude des comètes sera à relier à ses visions cosmogoniques : la queue des comètes est le signe d'une force répulsive émanée du Soleil. L'astre du jour occupera aussi longuement Faye, astre pour lequel il innovera sur le plan expérimental en introduisant en astronomie les nouvelles techniques que

---

[81] Monthly Notices of the Royal Astronomical Society : Obituary Notices FAYE, Hervé : 02/1903, p.20 ; DE PARVILLE, Henri, «Hervé Faye», *La Nature*, 1902, 30e année, 2ème semestre, p.93-94 ; NORDMANN, Charles, «Hervé Faye», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.897-898 ; POINCARE, Henri, «La vie et les travaux de Hervé Faye», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.496-501.
[82] POINCARE, H., *op.cit.*, p.497.
[83] DE PARVILLE, Henri, *op.cit.*, p.94
[84] *Archives de l'Ecole Polytechnique*, Dossier Faye.
[85] DE PARVILLE, Henri, *op.cit.*, p.96.
[86] Faye sera également président de la Société Astronomique de France de 1889 à 1891, et président de l'Association Géodésique Internationale.

sont la photographie et la télégraphie. Nordmann écrit à ce sujet que « L'un des premiers, le premier peut-être avec Arago, il songea à appliquer aux méthodes d'observation la Photographie et l'Electricité alors naissante. Le premier, il tenta la substitution de la photographie à l'œil dans les observations méridiennes, et cette méthode d'observation est aujourd'hui adoptée dans tous les observatoires »[87]. Nous détaillerons ainsi plus loin (chapitre 1.4) le caractère novateur des idées de Faye concernant l'observation des éclipses.

Mais, comme le fait à nouveau remarquer Nordmann, « c'est surtout comme théoricien, plus encore que comme observateur, que Faye laisse une trace durable »[88]. Il va par exemple apporter une critique à l'hypothèse de Laplace concernant l'origine de notre système solaire. Nous développerons largement ce point plus loin (chapitre 3.2), mais nous pouvons d'ores et déjà considérer cette partie de ses recherches car elle rejoint le changement paradigmatique initié par Fresnel. En effet, Faye, au contraire de Laplace, introduit l'idée de la nécessité d'une force répulsive au moment de la condensation de la nébuleuse primitive, force venant s'opposer à l'attraction newtonienne. Cette idée, d'inspiration cartésienne, s'accompagne chez Faye de considérations sur les tourbillons, phénomènes qui lui permettent également d'expliquer les taches et la mécanique solaire. En cherchant à caractériser les mouvements internes du Soleil, Faye « espérait rattacher ces lois aux principes généraux de la mécanique et expliquer par elles diverses circonstances de détail telles que l'inégalité de la rotation du Soleil aux diverses latitudes et la mystérieuse période des taches »[89].

Sur un plan épistémologique, on peut noter tout ce que Faye doit à Humboldt. Anne Marie Claire Godlewska fait remarquer comment Humboldt a cherché à observer les phénomènes, mais aussi à les expliquer en cherchant leurs causes[90]. Faye, dans une lettre non datée à l'abbé Moigno, traduit la même démarche lorsqu'il écrit au sujet de la nouvelle astronomie :

> Dans l'astronomie de mouvement on proscrit les hypothèses et l'on pense avec raison avoir suffisamment expliqué les faits quand on les a rattachés logiquement à des faits plus connus, plus familiers. Dans l'astronomie des phénomènes et des figures, on a recours à tout instant à des hypothèses. Là, l'apparition d'un fait nouveau provoque immédiatement la création d'une hypothèse spéciale destinée à en rendre compte.

---

[87] NORDMANN, Charles, *op.cit.*, p.897.
[88] *Ibid.*, p.898.
[89] POINCARE, Henri, *op.cit.*, p.499.
[90] GODLEWSKA, Anne Marie Claire, « From Enlightenment Vision to Modern Science ? Humboldt's Visual Thinking », in LIVINGSTON, D.N., WITHERS, C.W.J. (dir.), *Geography and Enlightenment*, Chicago-London, University of Chicago Press, 1999, p.238.

Le caractère holiste et interdisciplinaire relevé par Godlewska chez Humboldt, et qui suppose l'analogie comme moyen heuristique, est aussi à l'œuvre chez Faye de façon notable. Ses idées en astronomie fécondent ses travaux en météorologie, en géologie, et réciproquement. Poincaré fait bien remarquer qu' « il aimait à insister sur les rapprochements qu'on pouvait faire entre ces phénomènes météorologiques et ceux qu'on observe à la surface solaire et qu'il connaissait si bien. Le parallélisme lui paraissait frappant. Les taches correspondaient aux cyclones et naissaient dans les mêmes zones que les cyclones terrestres ; la différence de rotation des divers parallèles solaires s'expliquait par des courants assimilables à nos alizés, dus à des causes différentes, sans doute, puisque les nôtres sont produits par la chaleur d'un Soleil extérieur, mais dont sa théorie solaire lui semblait bien rendre compte »[91]. Là encore, il nous semble important de montrer que la pratique de Faye est fortement empreinte de celle de Humboldt si l'on regarde, comme Godlewska l'a souligné, le désir, chez l'un et chez l'autre, d'une explication de la structure interne des objets naturels. Cette pratique induit également la recherche de 'concepts clés'[92] généralisateurs, permettant d'expliquer, dans un souci d'unité des phénomènes et des sciences, un grand nombre de phénomènes physiques, chimiques, biologiques, géologiques, … C'est pour cela que Faye s'intéresse non seulement au Soleil et au système solaire mais aussi aux phénomènes terrestres : il propose par exemple une théorie des cyclones, identique au point de vue mécanique de sa théorie solaire et aussi source de polémique, où il soutient que ces phénomènes prennent naissance en altitude, sur les bords des grands courants aériens supérieurs. Ainsi, Faye, dans ce souci d'unité que nous soulignons, ne pourra adhérer à la séparation de la météorologie et de l'astronomie en 1878 lors de la création du Bureau Central Météorologique.

Faye transmettra la pensée et la démarche qui le caractérisent : Poincaré note ainsi que « ce que nous devons surtout voir en lui, c'est un semeur d'idées ; c'est par là avant tout que sa mémoire vivra »[93]. Si Poincaré ne cite pas d'élèves ou d'émules, nous verrons les liens qui ont existé entre Faye et Janssen, que nous détaillerons au chapitre 1.4.

Nous terminerons cette description des héritiers d'Arago et Fresnel avec Hippolyte Fizeau et Léon Foucault. Tous deux vont travailler ensemble dans les années 1840, en reprenant certaines expériences sous la houlette et le parrainage d'Arago.

---

[91] POINCARE, Henri, *op.cit.*, p.499-500.
[92] Voir GODLEWSKA, Anne Marie Claire, *op.cit.*, p.261.
[93] POINCARE, Henri, *op.cit.*, p.496.

Dans la récente biographie que William Tobin a consacrée à Foucault, Fizeau est qualifié de « double de Foucault »[94]. Cette expression vise à souligner l'identité de l'origine sociale et de la formation des deux savants : tous deux viennent d'un milieu aisé, ont fréquenté le collège Stanislas et ont débuté des études de médecine avant de bifurquer vers la physique. Fizeau, pour sa part, est le fils d'un médecin qui devient en 1823 titulaire de la chaire de pathologie interne à la faculté de médecine. Fizeau devait embrasser lui aussi une carrière médicale, mais il doit quitter Paris à cause d'une santé fragile[95]. Lorsqu'il revient à Paris, il fréquente l'OP, où il écoute Arago, le Collège de France où il assiste aux conférences de Victor Regnault, et découvre l'enseignement de l'Ecole Polytechnique grâce à l'un de ses frères. Cornu note ainsi qu' « il s'exerçait, dans la maison paternelle, à répéter les expériences qui l'avaient frappé ou à en imaginer de nouvelles »[96].

Léon Foucault, quant à lui, est le fils d'un libraire parisien[97]. Alors qu'il se montre « peu docile et peu studieux »[98] à l'école, il manifeste une habileté manuelle étonnante et se dirige, poussé par sa mère, au métier de chirurgien. Peu attiré par ses études médicales, il suit alors le cours libre de microscopie que donne Alfred Donné, ce dernier ne tardant pas à le prendre comme assistant puis comme collaborateur. Agnès Marillier note ainsi que Foucault « n'est pas un homme de théorie. Ce qu'il aime, c'est avec patience perfectionner les appareils, les meilleurs moyens, selon lui, de révéler les lois de la nature »[99]. Et c'est aussi chez lui que Foucault travaillera beaucoup, peu à l'aise semble-t-il dans des laboratoires où il ne trouve pas la même concentration. Fernand Papillon, peu de temps après la mort de Foucault, notera d'ailleurs que

> Le laboratoire de M. Foucault était installé dans le pavillon qu'il habitait, rue d'Assas. Foucault construisait lui-même, avec une habile et fine industrie, les appareils destinés à ses expériences, et les installait à demeure chez lui. Tout y était disposé de la façon la plus élégante et la plus confortable, afin d'assurer le calme

---

[94] TOBIN, William, *Léon Foucault,* EDP Sciences, 2002.
[95] Sur Fizeau, voir : CORNU, Alfred, « Notice sur l'œuvre scientifique de H. Fizeau », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1898, p.C1-C40 ; « Armand Hippolyte Louis Fizeau », *Astrophysical Journal*, vol.4, 1896, p.367-368 ; FIGUERAS, Emmanuel, « Un photographe physicien », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.12-16 ; CHEVALIER, Gérard, TOBIN, William, « Le grand art des pièges à lumière », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.50-67.
[96] CORNU, Alfred, *op.cit.*, p.C2-C3.
[97] Sur Foucault, voir : TOBIN, William, *Léon Foucault*, EDP Sciences, 2002, p.205-232 ; CHEVALIER, Gérard, TOBIN, William, « Le grand art des pièges à lumière », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.50-67 ; MARILLIER, Agnes, « Un amateur à l'académie », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.6-11.
[98] MARILLIER, Agnes, *op.cit.*, p.7.
[99] *Ibid.*

et le bien-être si nécessaire aux expérimentations précises et délicates. Un large balcon était pourvu d'un sidérostat qui permettait à l'inventeur du gyroscope de faire de l'astronomie physique au coin du feu. [100]

C'est au début des années 1840 que Foucault et Fizeau commencent à travailler ensemble sur l'amélioration des procédés photographiques. En effet, dès 1840, Fizeau se fait remarquer d'Arago par la mise au point d'un procédé permettant, à l'aide d'un sel d'or, de rendre la surface du daguerréotype plus résistante[101]. Plus tard, il introduira aussi le brome au lieu de l'iode dans la composition des plaques, faisant dire à Cornu, de façon très emphatique, que « La Photographie moderne, avec sa merveilleuse sensibilité, est, comme on sait, basée sur l'emploi du bromure d'argent ; mais on a oublié que c'est Fizeau qui, le premier, en 1841, en signala la propriété essentielle »[102]. Ainsi, Foucault en vient à contacter Fizeau et une collaboration entre les deux expérimentateurs s'installe et les conduit, à partir de l'art photographique, à élargir, sous l'impulsion d'Arago, leurs recherches dans le domaine de l'optique : « Aussi, dès les premiers temps de leur collaboration, Fizeau et Foucault, marchant dans la voie tracée par l'illustre maître, cherchèrent-ils à faire concourir l'image daguerrienne aux recherches physico-astronomiques »[103]. En effet, Fizeau et Foucault vont d'abord s'attacher à des mesures photométriques de l'intensité comparative du Soleil, de l'arc électrique ou de la lumière oxhydrique, travaux qui, comme Theresa Levitt l'a montré, sont la poursuite, à l'aide de plaques photographiques, des études photométriques visuelles initiées par Arago. Foucault et Fizeau précisent eux-mêmes dans leur mémoire de 1844 que « Notre but n'étant pas de comparer entre elles les quantités de lumière versées par ces différentes sources, mais de comparer leurs intensités mêmes, le choix du procédé photométrique devenait difficile ; nous avons donc pensé avoir recours aux propriétés chimiques de la lumière. Cette application des procédés photographiques indiquée il y a plusieurs années par M. Arago, n'a pas encore été tentée, ce qui nous oblige à exposer en quelques mots les principes sur lesquels nous nous sommes appuyés »[104]. Le principe de leur mesure réside dans la comparaison des temps de pose nécessaires à la naissance d'une image obtenue lors de l'exposition de la plaque photographique (daguerréotype) à la vapeur de mercure : « le point

---

[100] PAPILLON, Fernand, « Les laboratoires en France et à l'étranger », *Revue des deux-mondes*, 2e série, t.94, 1871, p.596.
[101] Voir AMAR, Pierre-Jean, *Histoire de la Photographie*, PUF, Collection «Que sais-je», Paris, 1997, p.19.
[102] CORNU, Alfred, *op.cit.*, p.C3.
[103] *Ibid.*, p.C5.
[104] FIZEAU, H., FOUCAULT, L., « Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série, t.11, 1844, p.371.

fixe que nous avons adopté est le degré d'altération auquel la couche sensible commence à condenser la vapeur du mercure ; c'est le point auquel commence à naître l'image photographique »[105]. Fizeau et Focault avancent ainsi dans leur mémoire des valeurs basées sur la lumière solaire du 2 avril 1844 : en attribuant 1000 à l'intensité de cette lumière, ils obtiennent des valeurs comprises entre 136 et 385 pour l'arc électrique et entre 0,5 et 6,85 pour la lumière Drummond[106].

A la suite de ce travail, Fizeau et Foucault vont réussir à obtenir des épreuves du Soleil montrant nettement, pour la première fois taches, facules et surtout assombrissement du Soleil vers les bords. Cet assombrissement constituait, pour Arago, une preuve en faveur de la nature gazeuse de la surface du Soleil qu'il nomme *photosphère*[107]. Il écrit ainsi dans son *Astronomie Populaire* : « Deux physiciens très-distingués, MM. Fizeau et Foucault, en recevant à ma prière, sur des plaques daguerriennes, l'impression très-rapide du disque du Soleil, ont vérifié par la photographie les résultats auxquels je suis arrivé par la photométrie »[108]. Ces essais participeront à transformer la photographie en réel outil scientifique, du moins telle sera la perception que voudront en donner les commentateurs de la génération suivante, à commencer par Cornu qui, dans l'hagiographie qu'il écrit de Fizeau, assure que « Désormais, l'étude de la constitution physique du Soleil était à l'abri des interprétations personnelles et entrait dans la voie documentaire »[109]. Pourtant, la photographie n'est pas pour autant devenue immédiatement un auxiliaire de confiance pour les scientifiques, tant les débats sur sa valeur probatoire seront nombreux dans les années 1870-1880 (voir les chapitres 2.1 et 2.2).

Fig. 1.1.2. : Image photographique du Soleil obtenue en un soixantième de seconde le 2 avril 1845 à 9h45 par MM. Fizeau et Foucault.

Source : ARAGO, François, *Astronomie Populaire. Nouvelle édition mise au courant des progrès des sciences par M. J.-A. Barral,* Paris, 1864-1867, vol.2, p.169-170.

---

[105] *Ibid.*, p.374.

[106] Cette lumière, appelée aussi lumière oxhydrique, était produite en projetant un jet d'oxygène et d'hydrogène mélangés sur une boule de chaux. La lumière Drummond permet d'obtenir la lumière équivalente à 180 bougies stéariques, et une température de l'ordre de 2 800°C.

[107] Arago avait d'ailleurs généralisé son résultat aux étoiles : « La constitution physique des photosphères des millions d'étoiles dont le firmament est parsemé, est identique à la constitution physique de la photosphère solaire », ARAGO, François, *Astronomie Populaire. Nouvelle édition mise au courant des progrès des sciences par M. J.-A. Barral*, Paris, 1864-1867, vol.2, p.165.

[108] ARAGO, François, Astronomie Populaire. Nouvelle édition mise au courant des progrès des sciences par M. J.-A. Barral, Paris, 1864-1867, vol.2, p.169-170.

[109] CORNU, Alfred, *op.cit.*, p.C5.

Fizeau et Foucault vont aussi, comme l'avait souligné Cornu, participer plus activement encore à la vérification de la théorie ondulatoire de la lumière de Fresnel en travaillant sur les interférences lumineuses, et en particulier sur l'obtention de franges pour de grandes différences de marche. Les deux physiciens vont ainsi réussir à observer des franges pour une différence de marche de plus de 7 000 ondulations, dépassant de loin les expériences de Fresnel, amenant Cornu à écrire qu' « Ainsi la constitution des ondes lumineuses telle que l'avait conçue Fresnel, mais sans l'avoir pu démontrer, se trouvait confirmée et précisée par des expériences d'une élégance remarquable et par des phénomènes que la théorie de l'émission était impuissante à expliquer »[110]. On peut aussi citer l'expérience qu'Arago n'a pu lui-même réalisée à la fin de sa vie, faute d'une vue suffisante, expérience que Fizeau et Foucault reprendront et qui sera leur dernière collaboration. Il s'agit de la mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau et dans l'air, mesure censée rejeter définitivement la théorie de l'émission au profit de la théorie ondulatoire. Les deux physiciens aboutiront à une valeur de la vitesse de la lumière plus faible dans l'eau que dans l'air, en conformité avec la théorie de Fresnel : « Ainsi fût tranchée définitivement la question si longtemps débattue entre les deux hypothèses sur la nature de la lumière, et c'est à Fizeau et Foucault que ce grand résultat est dû »[111].

Suite à cette rupture, Fizeau et Foucault apporteront isolément leur contribution au développement de l'optique en général (dans le cadre fresnélien bien entendu), et à la mise au point de méthodes et d'appareils qui seront déterminants pour le développement ultérieur de l'AP en particulier. Fizeau, de son côté, s'affirme lui aussi comme un 'semeur d'idées', ou plutôt de méthodes, sans lui-même développer d'études systématiques. Il poursuit par exemple ses travaux interférométriques en proposant en 1868 une méthode de mesure des diamètres stellaires :

> Il existe en effet pour la plupart des phénomènes d'interférences, tels que les franges d'Young, celles des miroirs de Fresnel et celles qui donnent lieu à la scintillation des étoiles d'après Arago, une relation remarquable et nécessaire entre la dimension des franges et celle de la source lumineuse, en sorte que les franges d'une ténuité extrême ne peuvent prendre naissance que lorsque la source de lumière n'a plus que des dimensions presque insensibles ; d'où, pour le dire en passant, il est peut-être permis d'espérer qu'en s'appuyant sur ce principe et en formant par exemple, au moyen de deux larges fentes très-écartées, des franges

[110] *Ibid.*, p.C9.
[111] *Ibid.*p.C12.

d'interférence au foyer des grands instruments destinés à observer les étoiles, il deviendra possible d'obtenir quelques données nouvelles sur les diamètres angulaires de ces astres.[112]

On voit que Fizeau fait cette proposition « en passant », sans chercher à développer la technique. L'astronome Edouard Stephan tentera de relever le défi en 1873 (voir chapitre 1.3), ainsi que Maurice Hamy à l'OP, quelque vingt-cinq ans plus tard (voir chapitre 3.3).
De même, Fizeau fera surgir l'idée d'une mesure de la vitesse des étoiles dès 1848, dans un mémoire qui ne sera publié qu'en 1870 dans les *Annales de Chimie et de Physique*[113], mesure basée sur la variation de la longueur d'onde de la lumière émise par une source lumineuse en fonction mouvement de la source par rapport à l'observateur. Cet effet, nommé plus tard effet Doppler-Fizeau (voir chapitres 2.4 et 3.1), donnera naissance à la méthode dite des 'vitesses radiales', pressenti par Fizeau en 1848 : « De semblables observations pourraient donc conduire à des données sur les vitesses propres des astres les plus éloignés, et, dans certains cas, sur leurs distances »[114].
En 1864, Fizeau, l'héritier d'Arago et de Fresnel, devient examinateur à l'Ecole Polytechnique. Il cèdera très tôt sa place à Alfred Cornu, qui maintiendra sans relâche la tradition transmise par Fizeau, au point d'y fonder l'origine d'une certaine astrophysique française (voir chapitres 2.1 et 3.1).

Quant à Foucault, il est aujourd'hui reconnu comme ayant apporté une contribution majeure au développement de l'astronomie moderne par son invention des télescopes à miroir de verre argenté, remplaçant les télescopes à miroir métallique en bronze, peu réfléchissants et dont la surface était difficile à travailler. Ainsi, en 1862, Foucault termine un télescope de 80 cm, qui équipera l'observatoire de Marseille à partir de 1864, initialement en alt-azimutal puis transformé en équatorial[115]. Mais, comme Owen Gingerich a pu l'écrire, si Foucault met au point sa technique d'argenture à la fin des années 1850, celle-ci ne pénétrera réellement le milieu des astronomes professionnels qu'à la fin du XIX^{ème} siècle, le télescope restant un instrument surtout privilégié par les amateurs[116].

---

[112] « Prix Bordin. Question proposée en 1865 pour 1867 », *CRAS*, t.66, 1868, p.934.
[113] FIZEAU, Hippolyte, « Des effets du mouvement sur le ton des vibrations sonores et sur la longueur d'onde des rayons de lumière », *Annales de Chimie et de Physique*, 4ème série, t.19, 1870, p.211-221.
[114] *Ibid.*, p.220.
[115] Ce télescope se trouve toujours à Marseille
[116] *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p.ix.

Foucault, comme nous l'avons noté, est un expérimentateur, un technicien talentueux : nombre de ses appareils, dispositifs ou méthodes de contrôle, ont trouvé une application dans le domaine astronomique, y compris l'AP : héliostat, sidérostat (voir les chapitres 2.1 et 3.1 sur l'utilisation que fera plus tard Deslandres des sidérostats de l'OP ou de l'observatoire de Meudon), régulateur (c'est un régulateur de Foucault qui équipait et équipe toujours la grande lunette de Meudon), méthode de la lame de couteau pour l'examen des surfaces optiques, pour ne citer que ses principales contributions[117].

Fig. 1.1.3. : Sidérostat de Foucault de l'observatoire de Meudon
Source : DANJON, André, COUDERC, André, *Lunettes et télescopes, Théorie, Conditions d'emploi, Description, Réglages,* Albert Blanchard, Paris, 1999, (édition originale 1935), p.375 et 377.

En février 1855, Foucault est nommé physicien à l'OP. Appelé par Le Verrier, Foucault bénéficie du soutien de Napoléon III, ce qui lui sera utile face au directeur omnipotent de l'OP. Foucault, lui aussi de caractère fort et entier, s'opposera en effet souvent à Le Verrier, notamment pour s'assurer l'indépendance qui lui était nécessaire dans son travail. Celui-ci consiste peu d'ailleurs en des études suivies et systématiques d'objets astronomiques à l'aide de méthodes physiques que Foucault a pu développer, mais plus en un travail technique et instrumental, voire métrologique : William Tobin insiste surtout sur la construction et l'amélioration des télescope en verre argenté, ainsi que sur la détermination de la vitesse de la lumière par la méthode du miroir tournant (concurrente de celle de Fizeau, utilisant une roue dentée)[118]. Finalement, la physique de Foucault pratiquée à l'OP est un acte technique et non scientifique. William Tobin caractérise son approche par un souci permanent d'indépendance

[117] L'ouvrage de William Tobin cité plus haut est extrêmement fouillé et documenté sur la vie et les innovations scientifiques et techniques de Foucault. Nous regrettons cependant l'absence des références des illustrations.
[118] Malgré tout, Endymion Pieraggi écrit dans *La Science Pittoresque* le 28 juillet 1862 au sujet du télescope de Foucault et d'observations consécutives sur les nébuleuses : « Le télescope de M. Foucault, qui vient de mettre la France en possession d'un des meilleurs instruments du monde, contribuera, espérons-le du moins, à mieux faire connaître la forme de ces mondes rudimentaires, et les lois qui régissent la matière dans cet état de cohésion plus ou moins déterminée. Nous faisons des vœux ardents pour que M. Foucault n'hésite point à rendre publics tous les résultats de ses observations, surtout ceux qui concernent l'astronomie physique, car, nous ne cesserons de le répéter, la connaissance de tous ces univers qui nous entourent peut seule élever l'âme et la délivrer des entraves dont elle embarrassée, tant par sa nature que par les idées étroites de sa philosophie. Le récent succès de l'observation de la nébuleuse dans les *Lévriers* doit naturellement encourager MM. Foucault et Chacornac, ou tous autres qui auront ce bel instrument à leur disposition, à poursuivre leur examen. »

et de précision[119] ; cependant, une étude contextualisée et historicisée fait ici défaut. En effet, Foucault est un réel travailleur de la science, et non un amateur, et il serait utile de préciser en quoi son parcours relève ou non de la marginalité au milieu du XIX^{ème} siècle. Car son parcours et celui de Fizeau semblent étonnamment identiques, ceux de savants qui marqueront leur époque, soit par la pérennité de leurs inventions, soit par la filiation scientifique[120]. L'analyse, au prochain chapitre, du parcours et de l'approche scientifique de Jules Janssen, futur fondateur de l'observatoire de Meudon, montrera ainsi que la formation et l'approche de Janssen sont proches de celles de Fizeau et Foucault : début autodidacte, pratique non mathématique mais instrumentale, absence de théorisation, travail solitaire. Cette analyse sera une étude de cas, pouvant éclairer éventuellement d'autres parcours à une époque où les laboratoires de physique en France sont quasi absents et la fragmentation disciplinaire un concept flou.

1.1.3 « L'invitation pressante à l'étude des spectres des étoiles »

En 1849, Foucault réalise deux expériences déterminantes au cours desquelles il remarque dans l'arc voltaïque du charbon une double raie brillante entre le jaune et l'orangé qui rappelle la double raie obscure, appelée D dans le spectre solaire. Il en rend compte à la Société Philomathique le 20 janvier 1849, et dans *L'Institut* du 7 février 1849, son article étant reproduit dans les *Annales de Chimie et de Physique* en 1860, au moment où les récents travaux de Kirchhoff et Bunsen sur l'explication des raies noires du spectre solaire suscitent des revendications de priorité évidentes. Foucault écrit dès 1849 :

> L'arc du charbon, qui est sans contredit le plus facile à manier, fournit à l'analyse prismatique le plus curieux et le plus éblouissant spectacle. Son spectre est sillonné, comme on le sait, dans toute son étendue d'une multitude de raies lumineuses irrégulièrement groupées; mais parmi elles on remarque une ligne double située sur la limite du jaune et de l'orangé. Cette double raie rappelant par sa forme et sa situation la raie D du spectre solaire, j'ai voulu rechercher si elle lui correspondait; à défaut d'instruments pour mesurer les angles j'ai eu recours à un procédé particulier.

---

[119] TOBIN, William, *op.cit.*, p.298.
[120] Nous pensons ici à Cornu qui sera un relais important de l'œuvre de Fizeau, via l'Ecole Polytechnique.

J'ai fait tomber sur l'arc lui-même une image solaire formée par une lentille convergente, ce qui m'a permis d'observer à la fois superposés le spectre électrique et le spectre solaire; je me suis assuré de la sorte que la double raie brillante de l'arc coïncide exactement avec la double ligne noire de la lumière solaire.
Ce procédé d'investigation m'a fourni matière à quelques observations inattendues [...]. Il m'a montré que cet arc, placé sur le trajet d'un faisceau de lumière solaire, absorbe les rayons D, en sorte que ladite raie D de la lumière solaire se renforce considérablement quand les deux spectres sont exactement superposés. Quand, au contraire, ils débordent l'un sur l'autre, la raie D apparaît plus noire qu'à l'ordinaire dans la lumière solaire et se détache en clair dans le spectre électrique, ce qui fait qu'on juge parfaitement de leur parfaite coïncidence. Ainsi l'arc nous offre un milieu qui émet pour son propre compte les rayons D, et qui, en même temps, les absorbe lorsque ces rayons viennent d'ailleurs.[121]

Un peu plus loin, Foucault note que cette raie D est omniprésente (arcs fournis par d'autres matières, flamme de la bougie, soude, sels formés de chaux, etc.) et continue avec un jugement visionnaire:

Avant de rien conclure de la présence presque constante de la raie D, il faudra sans doute s'assurer si son apparition ne décèle pas une même matière qui serait mêlée à tous nos conducteurs. Néanmoins, ce phénomène nous semble dès aujourd'hui une invitation pressante à l'étude des spectres d'étoiles car, si par bonheur on y retrouvait cette même raie, l'astronomie stellaire en tirerait certainement parti.[122]

Ainsi, Foucault semble réaliser pour la première fois l'inversion du spectre, c'est-à-dire le passage d'une raie brillante à une raie noire correspondante, et ceci en utilisant le spectre solaire comme moyen d'observation de l'absorption de la raie D. Même si le jugement d'Achille Cazin sur les expériences de Foucault est plus qu'emphatique, lorsqu'il dit que « cette découverte du célèbre physicien français a été le point de départ de la spectroscopie céleste, qui forme aujourd'hui une branche importante de l'Astronomie physique »[123], on peut malgré tout le suivre en disant que « c'est à Foucault qu'on doit la première expérience concluante sur l'identité de position d'une ligne d'absorption produite par un gaz servant d'écran à une source continue et d'une ligne d'émission que le même gaz émet quand il est lui-même source lumineuse »[124]. Mais les travaux de Kirchhoff et Bunsen qui vont suivre, apparaissent beaucoup plus complets et plus profonds dans leur signification et leur portée,

---

[121] FOUCAULT, Léon, « Note sur la lumière de l'arc voltaïque », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série, t.58, 1849, p.476-477.
[122] *Ibid.*, p.477-478.
[123] CAZIN, Achille, *La Spectroscopie*, Gauthier-Villars, Paris, 1878, p.43
[124] *Ibid.*, p.41.

éclairant les phénomènes spectraux étudiés depuis longtemps et ouvrant des perspectives inédites.

Sans revenir aux études spectrales réalisées depuis Newton, voire avant[125], on peut malgré tout situer les travaux antérieurs à ceux de Kirchhoff et Bunsen depuis le XIX^{ème} siècle. Car si le spectre solaire était observé depuis longtemps, c'est l'anglais William Wollaston qui, au début du XIX^{ème} siècle, va faire la découverte la plus déterminante depuis les travaux de Newton. En effet le dispositif utilisé par Newton pour l'observation du spectre solaire ne lui avait pas permis d'observer de raies dans le spectre solaire : son spectre était une suite d'images circulaires du Soleil empiétant les unes sur les autres, et donnant lieu par leur ensemble à une image unique, allongée et constituée de diverses couleurs. Cependant, « si l'on s'arrangeait de manière que l'image produite par chacune des lumières composantes fût très-étroite, on devait avoir l'espoir d'empêcher par là la superposition partielle des diverses images les unes sur les autres. Or, il était facile d'y arriver en [donnant] à l'ouverture par laquelle la lumière du dehors pénètre dans la chambre obscure, la forme d'une fente de peu de largeur »[126]. Ainsi, l'innovation apportée par Wollaston consiste-t-elle à réduire la largeur de la fente : il observe alors un spectre dans lequel des raies sombres découpent l'image colorée. Mais avec Wollaston se termine une époque durant laquelle seuls étaient utilisés un prisme et une fente. A partir de là, les études spectrales vont être dépendantes de la convergence de diverses techniques, notamment celle, décisive, de l'opticien munichois Joseph Fraunhofer.

En effet, c'est en 1814 et 1815 que Fraunhofer, voulant déterminer avec soin les indices de réfraction de différents verres pour des couleurs données (en vue de perfectionner les lunettes achromatiques), imagine d'associer le système fente-prisme à une lunette astronomique: son appareil est constitué d'un théodolite répétiteur sur la plate-forme duquel est disposé un prisme de flint très pur réglé au minimum de déviation, situé à 8 mètres de la fente. Son objectif était ainsi de trouver des points de repère dans les spectres qu'il observait. Il étudie la flamme d'une chandelle (et remarque la raie jaune que l'on sait aujourd'hui être due au sodium), des flammes carbonées, la flamme de l'étincelle électrique et sera aussi le premier à pointer son appareil vers les corps célestes. Mais c'est surtout l'étude du spectre solaire qui va l'intéresser. En analysant la lumière solaire, Fraunhofer, qui ignorait les découvertes de Wollaston, constate l'existence de raies sombres dans le spectre : il en dénombre 576. Il

---

[125] Voir pour cela : LE GARS, Stephane, *La spectroscopie solaire : les contributions de Jules Janssen*, Mémoire de DEA, Université de Nantes, juin 2002.

[126] DELAUNAY, Charles, « Notice sur la constitution de l'Univers, Première partie: Analyse Spectrale », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, Gauthier-Villars, Paris, 1869, p. 457.

choisit les huit raies noires les plus visibles, qu'il nomme A,B,C,D,E,F,G,H et s'en sert comme points de repère pour la détermination des indices de réfraction des différents rayons colorés dans un milieu donné. C'est ainsi que les raies du spectre solaire sont également appelées 'raies de Fraunhofer'.

Fraunhofer réalise un travail important sur plusieurs points. Tout d'abord, son appareillage va connaître une pérennité dans les travaux de spectroscopie : en 1888, Georges Salet note ainsi qu' « il est excellent et un certain nombre de spectroscopes à vision directe qu'on fabrique aujourd'hui, ne possèdent comme lui qu'une fente, un prisme et une lunette »[127]. Ensuite, il introduit en 1821 un autre instrument: le réseau plan. Au contraire du prisme, le réseau donne un spectre où la déviation des rayons est proportionnelle à leur longueur d'onde: « [...] en connaissant seulement l'angle de déviation de la lumière, [...] on peut, au moyen d'une équation extrêmement simple, déterminer l'étendue d'une onde lumineuse pour chacune des différentes couleurs »[128]. Cette innovation va permettre la mesure absolue des longueurs d'onde par la suite. Enfin, Fraunhofer va être le précurseur de la spectroscopie astronomique; comme le note Pierre Salet, « Fraunhofer, qui fut le premier à étudier le spectre solaire, doit aussi être regardé comme le fondateur de l'astrospectroscopie. Il appliqua en effet le spectroscope à l'étude de la lumière des astres, notamment à celle de Vénus et de la Lune; il reconnut que, dans ce cas, la lumière est identique à celle du spectre solaire, ce qui prouve que ces astres ne sont pas lumineux par eux-mêmes, mais réfléchissent simplement la lumière du Soleil [...]. Fraunhofer, qui avait deviné que l'atmosphère n'était pas la cause des raies sombres, le prouva bientôt en observant des spectres d'étoiles et en montrant qu'ils présentent des raies différentes de celles du spectre solaire. Cette découverte constitue la base de la chimie solaire ou stellaire »[129].

Après cela, c'est en Angleterre que la plupart des travaux sur la spectroscopie vont paraître entre 1820 et 1840. Dès 1822, David Brewster s'intéresse à la question. En cherchant à obtenir une lumière 'homogène' (on dirait aujourd'hui monochromatique) pour éclairer des objets vus au microscope, il étudie tout d'abord des plaques de verres colorés. L'examen du spectre obtenu lui révèle un 'degré d'homogénéité' peu satisfaisant. Il se tourne donc vers la

---

[127] SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie*, Masson, Paris, 1888, p.23-24.

[128] Cité in SAILLARD, Michel, « Histoire de la Spectroscopie, De la théorie de la lumière et des couleurs de I.Newton (1672) à la découverte de l'effet Zeeman (1897) », *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, N°26, 1988, p.23. L'écriture moderne de cette équation est $d \sin \alpha = k. \lambda$ où d est le pas du réseau, α la déviation, k l'ordre du spectre et λ la longueur d'onde.

[129] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Doin et fils, Paris, 1909, p.210.

combustion de substances inflammables et étudie la flamme de l'alcool salé : il obtient un spectre constitué presque uniquement de deux raies brillantes dans le jaune, très proches l'une de l'autre. Par la suite, c'est John Herschel qui, dans une lettre à Brewster, annonce l'analyse spectroscopique qu'il a effectuée sur des flammes d'alcool salé contenant en solution des substances comme les chlorures de strontium, calcium, baryum, mercure, cuivre, etc. En 1826, William Henry Fox Talbot énonce l'idée d'une analyse chimique fondée sur l'observation de spectres. En 1826, il écrit ainsi qu' « un coup d'œil jeté sur le spectre prismatique d'une flamme pourrait suffire pour y indiquer la présence de substances qui autrement n'y auraient été découvertes qu'à l'aide d'une analyse chimique laborieuse »[130].

En 1836, Fox Talbot revient sur l'analyse spectrale des flammes et insiste sur l'importance de la mesure des positions des raies, brillantes ou noires, que l'on observe dans les spectres, notant par delà les progrès que peut apporter l'optique à la chimie : « Les rayons définis par certaines substances [...] possèdent un caractère fixe et invariable, qui est analogue jusqu'à un certain point aux proportions fixes dans lesquelles tous les corps se combinent, suivant la théorie atomique. On peut s'attendre donc à ce que les recherches optiques, conduites avec soin, viennent jeter un jour nouveau sur la chimie »[131].

A la même époque, le physicien Charles Wheatstone réalise la première étude importante des spectres métalliques obtenus dans l'arc et l'étincelle électriques. En utilisant un spectroscope à prisme et un télescope muni d'une échelle oculaire, il aboutit à une étude comparative des spectres métalliques. Pour Wheatstone, les différences entre les spectres obtenus « sont si évidentes que chaque métal peut se distinguer des autres à partir de l'apparence de son étincelle, et nous avons là un mode de distinction des corps métalliques bien meilleur que celui donné par un examen chimique, et qui peut dorénavant être employé à des fins utiles »[132].

D'un point de vue instrumental, l'analyse des spectres électriques va intégrer les évolutions techniques de l'époque : après avoir été obtenue par une machine électrostatique (Wollaston, Fraunhofer), l'étincelle électrique sera formée par une bobine d'induction (travaux de Wheatstone). En parallèle avec un condensateur, cette bobine d'induction donne une étincelle dite « condensée ». A partir de 1845-1850, c'est au tour de la bobine de Ruhmkorff d'être utilisée. Ainsi, grâce à ces innovations, « l'usage de l'étincelle électrique offre des ressources infinies pour l'expérimentation. En faisant varier la source d'électricité, la distance, la forme

---

[130] Cité in DELAUNAY, Charles, *op.cit.*, p.465-466.
[131] *Ibid*. p.470.
[132] Cité in SAILLARD,Michel, *op.cit.*, p.28.

des électrodes, la pression du gaz, on modifie à son gré la température de l'étincelle, c'est-à-dire du gaz incandescent, et chaque modification apporte un changement dans le spectre »[133].

Pendant ce temps, Brewster s'intéresse au spectre solaire. En 1834, afin de mieux comprendre le phénomène d'absorption, il change l'aspect des spectres qu'il observe, en modifiant l'épaisseur de gaz traversée ou sa température. Brewster en arrive à penser que les raies noires du spectre sont dues à l'absorption du gaz étudié. Il observe de plus que le spectre du gaz 'acide nitreux'[134] ressemble par sa complexité à celui du soleil. Il va donc attribuer les raies noires du spectre solaire à l'absorption de lumière à travers l'atmosphère du soleil, et entreprend l'étude attentive de ces raies : il observe, grâce à un spectroscope plus puissant que celui de Fraunhofer, plus de 2000 raies. Mais il ne s'arrête pas là dans l'interprétation des spectres : après de nombreuses observations faites à différents moments de la journée, ainsi qu'à différentes saisons, il note que l'apparence de certaines raies peut changer: « Une comparaison soigneuse de ces observations m'a bientôt montré que *les raies et bandes dont il s'agit dépendent de la proximité du Soleil à l'horizon, et sont produites par l'action absorbante de l'atmosphère de la Terre*...Les raies atmosphériques, comme on peut les appeler, ont leur maximum de visibilité lorsque le Soleil descend sous l'horizon »[135]. Ces travaux auront ainsi une importance considérable dans la carrière scientifique de Jules Janssen, puisque c'est par l'étude de l'absorption par l'atmosphère terrestre et l'identification du corps responsable de cette absorption que Janssen se fera connaître (voir chapitre suivant).

Bien évidemment, une telle idée ne va pas sans résistance. C'est en voulant combattre la théorie de Brewster sur l'absorption de la lumière par l'atmosphère solaire que J.F. Forbes réalise une 'première': l'utilisation d'une éclipse pour vérifier une théorie physique. S'il y a réellement absorption, le spectre du bord du Soleil, et celui du centre doivent être différents, l'épaisseur d'atmosphère solaire traversée par les rayons lumineux étant plus importante au bord qu'au centre. Distinguer bord et centre n'est cependant pas chose aisée, hormis lors d'une occultation du Soleil par la Lune, c'est-à-dire lors d'une éclipse de Soleil. Ce sera chose faite lors de l'éclipse annulaire du 15 mai 1836, et la conclusion à laquelle Forbes arrive est décevante. Il écrit ainsi à Arago dans une lettre en juin 1836 : « La dernière éclipse de Soleil (éclipse annulaire du 15 mai 1836), m'a donné le moyen de me procurer un spectre engendré exclusivement par les rayons du bord du Soleil ; or j'ai reconnu sans équivoque que ce spectre

---

[133] CAZIN, Achille, *op.cit.*, p.37.
[134] D'après Michel Saillard, le gaz 'acide nitreux' de Brewster est un mélange de deux gaz, N_2O_4 et NO_2.
[135] DELAUNAY, Charles, *op.cit.*, p.492.

est parfaitement identique à celui qui résulte de l'ensemble de la lumière de l'astre. Conséquemment les rayons manquants ne sont pas perdus dans l'atmosphère solaire »[136].

Les physiciens français vont également apporter leur contribution à l'instrumentation spectroscopique. En effet, en 1854, Antoine Masson construit un appareil qui préfigure les futurs appareils de Bunsen et Kirchhoff. Il s'agit en fait d'un goniomètre de Babinet portant une fente placée au foyer d'une lunette collimatrice[137].

Fig. 1.1.4. : Goniomètre de Babinet et spectroscope de Masson

Source : BUIGNET, Henri, *Manipulations de physique : cours de travaux pratiques professé à l'Ecole supérieure de pharmacie de Paris*, Baillière et fils, Paris, 1876, p.426 ; SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie,* Masson, Paris, 1888, p.25.

A la sortie de cette lentille, le prisme reçoit des rayons parallèles qui sont alors dispersés et que l'on peut observer par le biais d'une loupe L. Cet appareil est ainsi fait pour être utilisé au minimum de déviation, position particulière du faisceau incident pour lequel la déviation D donne l'indice de réfraction n d'un rayon coloré dans la matière constituant le prisme par la formule: $n = \frac{\sin\frac{1}{2}(\alpha + D)}{\sin\frac{1}{2}\alpha}$. (Formule établie par Fraunhofer où α est l'angle au sommet du prisme). Armé de cette formule, il est donc possible de dessiner un spectre, c'est-à-dire d'enregistrer avec la plus grande précision la position relative des raies. Cependant, pour que les mesures soient comparables, ceci impose que le matériel soit strictement identique d'une manipulation à une autre, tant au niveau de la substance du prisme que de la température à laquelle se fait l'expérience.

Inspirés par le spectroscope de Masson, Kirchhoff et Bunsen vont pouvoir donner la clé des raies du spectre solaire. Owen Gingerich note que si certains physiciens anglais étaient au courant des travaux de Foucault, personne avant les deux savants allemands n'a pris

---

[136] *Ibid*, p.494.

[137] Le collimateur, ou lunette collimatrice, constitue un ajout important dans l'appareillage. Il fut introduit indépendamment par Zantedeschi en Italie et par Swan en Angleterre en 1847. (Swan est l'inventeur de la lampe à incandescence avant Edison, avec qui il s'associera par la suite.) Avec ce collimateur apparaît donc réellement le spectroscope tel que nous le connaissons aujourd'hui.

conscience de la signification exacte des observations.[138] Techniquement, c'est par la mise au point d'un brûleur particulier, que l'on nomme toujours bec Bunsen, et de l'assurance de produits chimiques d'une grande pureté que Kirchhoff et Bunsen ont pu généraliser et, selon Gingerich, donner naissance en 1859 à l'astrophysique ou plus précisément à l'astrochimie, la possibilité offerte par la théorisation des deux savants portant avant tout sur la connaissance chimique des astres. Gingerich ajoute que c'est par le travail conjoint d'un physicien et d'un chimiste qu'une avancée fût possible : en 1859, Kirchhoff et Bunsen affirment que « la relation entre la puissance de l'émission et le pouvoir absorbant de chaque sorte de rayon (de chaleur rayonnante) est la même pour tous les corps à la même température »[139]. Ces travaux impliquent bien entendu l'unité chimique de l'Univers et la possibilité d'une extension d'expériences de laboratoire au domaine céleste. Ainsi, suite à ses travaux conjoints avec Bunsen, Kirchhoff s'intéresse au spectre solaire. Sa loi lui permet d'affirmer que « nous pouvons savoir comment les raies noires du spectre révèlent les constituants de l'atmosphère solaire »[140]. Pour cela, il utilise un spectroscope à plusieurs prismes, le premier du genre :

Fig. 1.1.5. : Spectroscope à 4 prismes de Kirchhoff et Bunsen

Source : SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie,* Masson, Paris, 1888, p.30.

La lumière, traversant trois prismes à 45° puis un prisme à 60°, subit une plus grande dispersion. La lunette, servant d'oculaire, grossit quant à elle 40 fois environ. Bien évidemment, le réglage d'un tel appareil est délicat : il faut commencer par mettre le premier prisme au minimum de déviation, puis le deuxième, etc. Puis, en introduisant en même temps par deux parties différentes de la fente la lumière du Soleil et celle d'un corps connu, il peut observer facilement des coïncidences et réaliser l'analyse chimique du Soleil. Il commence par le fer : « Il est particulièrement remarquable de voir que, dans toutes les parties des spectres où j'ai découvert des raies brillantes du fer, existent des raies obscures très-marquées. En raison de la précision des moyens d'observation que j'ai mis en usage, j'ai tout lieu de croire que la coïncidence des raies du fer avec les raies solaires est au moins aussi

[138] GINGERICH, Owen, « Astronomical Scrapbook, Unlocking the Chemical Secrets of the Cosmos «,*Sky and Telescope,* juillet 1981, p13-15.
[139] KIRCHHOFF, Gustav, « Contribution towards the History of the Solar Spectrum», *Philosophical Magazine,* 1863, 25, p.255.
[140] *Ibid.*

certainement établie que l'est la coïncidence des raies du sodium avec les raies D »[141]. Pour prouver ses dires et affirmer que ces coïncidences ne sont pas fortuites, Kirchhoff s'aide d'un calcul de probabilités : ayant trouvé 60 coïncidences entre le spectre solaire et le spectre de la vapeur de fer, observant que la distance de deux raies consécutives était en moyenne de 2 mm, et estimant que deux raies étaient en coïncidence si leur distance était inférieure à 0,5 mm, il calcule que la probabilité qu'un tel fait soit dû au hasard était inférieure à $(1/2)^{60}$, soit un nombre extrêmement faible. Cependant, comme le note Pierre Salet, « il ne faudrait pas être dupe de ces résultats du calcul des probabilités. En effet, on remarqua plus tard que toutes les raies d'un élément donné ne se trouvent pas dans le spectre solaire, et l'on supposa d'abord que ces raies supplémentaires, observées seulement dans le laboratoire, étaient dues à des impuretés, de telle sorte que les coïncidences observées par Kirchhoff démontreraient bien toujours l'existence de l'élément considéré, mais dans un état de pureté où nous ne l'avons jamais observé »[142]. Quoi qu'il en soit, Kirchhoff partant d'une proposition initiale stipulant que le Soleil présenterait une sphère lumineuse capable, si elle existait seule, de produire un spectre continu et une couche gazeuse enveloppant cette sphère et produisant un spectre d'absorption[143], montre ainsi la présence dans l'atmosphère solaire de fer, sodium, calcium, magnésium, chrome, nickel, baryum, cuivre et zinc. De plus, il rejette la présence d'or, argent, mercure, aluminium, cadmium, étain, plomb, antimoine, arsenic, strontium, lithium et silicium »[144]. Astronomie, physique, chimie sont désormais liées par la spectroscopie. Ces domaines vont sans cesse s'influencer mutuellement, et participer à modifier les habitudes des uns et des autres. Les années 1860 marquent un tournant évident, dans lequel vont s'engouffrer quelques précurseurs.

Ainsi, quelle perception et quelle réception les savants français vont-ils faire aux résultats de Kirchhoff et Bunsen ? Cette analyse a été faite récemment par David Aubin[145]. Celui-ci montre que la communauté scientifique française a été immédiatement et extrêmement enthousiaste vis-à-vis des résultats de Kirchhoff et Bunsen. Certains physiciens comme Masson, Edmond Becquerel, Hervé de la Provostaye, Paul Desains ou Ignazio Porro s'étaient

---

[141] KIRCHHOFF, Gustav, « Recherches sur le Spectre Solaire et sur les Spectres des Corps Simples», *Annales de Chimie et de physique*, 3ème série, t 68, 1863,p.24.
[142] SALET, Georges, *op.cit.*, p.213.
[143] KIRCHHOFF, Gustav, *op.cit.*
[144] Louis Grandeau, qui assura la traduction du mémoire de Kirchhoff sur le spectre solaire paru dans les *Annales de chimie et de physique*, fournira d'ailleurs à Kirchhoff des fragments de silicium fondu pour ses travaux.
[145] AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633.

cependant déjà intéressés à la spectroscopie[146]. Foucault, surtout, a montré un désintéressement exemplaire en ne citant pas ses propres travaux lorsqu'il écrira sur le sujet dans le *Journal des Débats* en 1862. Cette attitude française est à comparer avec celle de la Grande Bretagne, moins encline à accepter la priorité des travaux allemands. David Aubin met ici en avant la spécificité française que nous avons déjà évoquée, à savoir la préoccupation des physiciens français vers des problèmes d'optique : si l'application des spectres à l'analyse chimique était une idée étrangère à leur culture, les savants et constructeurs français se sont montrés de leur côté leaders dans les recherches de projection des raies sur écran pour des cours ou conférences par exemple. Ainsi, un constructeur comme Jules Duboscq s'est révélé immédiatement très compétent dans la construction de spectroscopes en France.

C'est cependant le laboratoire de chimie de Henri Sainte-Claire Deville qui va se révéler pionnier dans les études d'analyse spectrale, principalement par le biais de Louis Grandeau. Ce dernier, docteur ès sciences physiques, docteur en médecine pharmacien de première classe de la Faculté de Paris, va travailler de 1858 à 1868 avec Sainte Claire Deville à l'ENS, puis auprès de Claude Bernard au Collège de France. En 1860, il se rend en Allemagne, au laboratoire de Bunsen à Heidelberg : il s'y initie à l'analyse chimique du césium et du rubidium, et traduit, comme nous l'avons vu plus haut, le mémoire de Kirchhoff sur le spectre solaire. Grâce à lui, « le laboratoire de Deville devint un centre rayonnant pour l'analyse spectrale »[147], permettant à des normaliens comme Claude Auguste Lamy ou Eleuthère Mascart de poursuivre leur travail spectroscopique. David Aubin rajoute d'ailleurs que Fizeau, expert en instruments d'optique, fréquentait aussi ce laboratoire en quête de produits spectroscopiques purs.

---

[146] A titre d'exemple, nous pouvons citer les nombreux articles de 1861 et 1862 de la revue de vulgarisation *La Science Pittoresque* que nous nous sommes procurés par hasard dans une brocante (mais Pasteur a bien su écrire que le hasard ne favorise que les esprits préparés…), et qui concernent la découverte de Kirchhoff et Bunsen. Dans le numéro du 8 novembre 1861 est publié un discours de Jean-Baptiste Dumas qui écrit que « la lumière, […] après avoir donné la photographie aux arts, devient, à son tour, entre les mains de MM. Bunsen et Kirchhoff, deux éminents professeurs de l'université d'Heidelberg, un instrument d'analyse universel, d'une délicatesse infinie, qui révèle l'existence de métaux inconnus ». Léon Garnier écrit pour sa part le 22 novembre 1861 que « L'observation des intervalles obscurs dans l'image solaire, […] l'étude du spectre des étoiles fixes et des autres lumières indépendantes de la source solaire, […] avaient doucement habitué les esprits aux résultats probables de la chimie céleste. On commençait à appliquer la théorie des *interférences* aux raies obscures de la lumière solaire. MM. Kirchhoff et Bunsen ont été plus loin, ils ont expliqué les raies brillantes des flammes indépendantes […] ».

[147] *Ibid.*, p.625.

Finalement, il apparaît que l'introduction de l'analyse spectrale a dû composer, en France, avec le contexte physicien. Si cette technique a occupé le domaine de la chimie via l'ENS, il ne semble pas que ce soit le cas à l'Ecole Polytechnique. Cette dernière institution est, au moins jusqu'en 1854, en lien étroit avec l'OP et le Bureau des Longitudes. Après cette date, l'arrivée de Le Verrier à la direction de l'Observatoire et la séparation du Bureau des Longitudes et de l'Observatoire créeront un nouveau climat de recherche. Et en ce qui concerne la chimie, Catherine Kounelis a montré la faiblesse, voire l'absence totale, d'une diffusion à l'Ecole Polytechnique de notions nouvelles comme la spectroscopie ou la dissociation chimique (dont Faye s'inspirera entre autres pour élaborer sa théorie solaire)[148]. En 1880, Cornu, que nous montrerons être un artisan important de l'AP en France à la fin du XIX^{ème} siècle, estime pour sa part que la chimie n'a pas encore le statut de la physique, et qu'elle ne peut encore être expliquée par, et rattachée à, la mécanique rationnelle. Il se révèlera d'ailleurs un gardien de la tradition (comme nous le montrerons plus en avant dans le chapitre 2.3), en se posant comme un défenseur de la notation en équivalents au détriment de la notation atomique[149]. Et l'on peut d'ores et déjà entrevoir que la spectroscopie pratiquée et diffusée par Cornu à l'Ecole Polytechnique sera d'une nature toute autre que l'analyse chimique par l'étude des spectres faite à l'ENS, l'une des conséquences étant entre autres une certaine incapacité d'interprétation des phénomènes de la chimie : ce fait sera déterminant pour l'AP française.

Ainsi, nous avons voulu montrer tout d'abord la nature de la tradition scientifique française qui a influencé tout savant se destinant à travailler dans le domaine de la spectroscopie : une forte orientation vers l'optique, et en particulier vers les idées de Fresnel sur la théorie des ondulations ; des travaux de nature expérimentale, où l'instrument est souvent passé devant l'objet que celui-ci observe ; la conséquence inévitable du dernier point étant le manque d'études approfondies et systématiques (celles-ci faisant l'objet d' « invitations pressantes » pour les recherches futures), au profit d'un développement de la simplicité et de la précision des appareils.

Ensuite, il est important de constater qu'une étude du développement de l'AP passe par une prise en compte nécessaire des formations des scientifiques, notamment pour préciser

---

[148] KOUNELIS, Catherine, « Heurs et malheurs de la chimie. La réforme des années 1880 », in *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994,* BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994, p.249.

[149] *Ibid.*, p.261.

l'influence institutionnelle qu'ils ont subie. J.-L. Davis note ainsi que la tradition de l'optique à la française a été moins présente à l'ENS qu'à l'Ecole Polytechnique, notamment à cause des professeurs qui y enseignaient : l'influence de l'astronomie et donc de l'optique a été moins forte qu'à l'Ecole Polytechnique où les Arago, Fizeau, Faye ou Cornu perpétueront le legs fresnélien et la présence de la culture astronomique de la précision optique[150].

Dans les deux prochains chapitres, nous tenterons donc de décrire le parcours de physiciens comme Janssen ou Rayet, de façon à préciser comment chacun, au sein de l'institution dans lequel il évolue ou de par la méthode qu'il pratique, a pu composer avec ce contexte français spécifique, et comment chacun a pu, ou non, poser son empreinte sur l'AP naissante.

[150] DAVIS, J.-L., *op.cit.*, p.68 notamment.

1.2 Jules Janssen : un initiateur de la spectroscopie astronomique

Le jeudi 21 août 1862, Jules Janssen note dans l'un de ses carnets conservés à la Bibliothèque de l'Institut : « Hôtel du Louvre. M. Kirchhoff point trouvé »[151]. La rencontre eût été d'importance pour un physicien comme Janssen qui, depuis deux ans, s'intéresse, après une thèse d'ophtalmologie, à la spectroscopie, obtient ses « premières raies du spectre » le 23 janvier 1862[152], puis observe de « belles raies du spectre solaire » le jeudi 13 mars, à l'aide de l'appareil de Kirchhoff qu'il a lui même construit. Si Janssen a pris la peine de noter dans son carnet qui il n'a pas rencontré et n'a donc pas profité de la venue à Paris de Kirchhoff en 1862, c'est que Janssen est un savant qui place les rencontres et les échanges au premier plan : homme situé aux carrefours de plusieurs disciplines, il ne sort d'aucune grande école, mais va pourtant réaliser d'importantes contributions à la spectroscopie, et devenir l'un des artisans principaux de l'AP, alors en gestation. Nous nous attacherons donc dans ce chapitre à décrire l'entrée en science de ce savant issu d'une famille d'artistes. Puis, nous analyserons la nature de ses premiers travaux, en regardant dans quelle lignée ceux-ci s'insèrent, et en montrant le caractère humboldtien de la science pratiquée par Janssen. Enfin, nous définirons le style et la sociabilité d'un personnage iconoclaste de la science française.

1.2.1 D'une famille d'artiste à une vie de savant

Jules Janssen reste un personnage encore assez méconnu en dehors du cercle restreint des historiens de l'astronomie, alors que sa notoriété au XIX^{ème} siècle était très grande. Ce relatif oubli trouve certainement son origine dans le fait qu'il n'a ni écrit de livre, ni formé d'élèves (du moins dans le cadre d'un enseignement bien défini) . Plus encore, il n'est l'auteur d'aucune théorie marquante. Pourtant son héritage est énorme : institutionnel d'un côté, car il est le fondateur de l'observatoire de Meudon et de l'éphémère observatoire du Mont-Blanc ; technique de l'autre, avec de nombreuses innovations dans le domaine de la spectroscopie et

[151] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°8. La plupart des citations et des événements concernant Janssen dans ce chapitre sont issus des carnets de Janssen conservés à la Bibliothèque de l'Institut, en particulier le carnet n°8 de la période 1860-1862.
[152] *Ibid.*

de la photographie, l'amenant même à concevoir un « revolver photographique », précurseur du cinéma.

Janssen est issu d'une famille bourgeoise et artiste[153]. Son père était musicien, et son grand-père maternel, architecte prix de Rome[154], prit part à la construction de la Bourse avec Alexandre Brongniart. Suite à un revers de fortune de sa famille, en 1840, Janssen commence par travailler dans une banque pendant sept ans. Il étudie alors seul, suit les cours du Conservatoire des Arts et Métiers, et passe en 1849 son baccalauréat ès lettres, puis son baccalauréat ès sciences l'année suivante. C'est au collège Bonaparte que Janssen prépare ses baccalauréats, en suivant notamment les cours de Briot et Desains. A partir de 1850, tout en vivant de leçons particulières, il fréquente à la Sorbonne les cours de Cauchy, Lefébure, Le Verrier, et Sturm. En 1852, il obtient sa licence ès sciences mathématiques. Puis,en janvier 1853, il commence des suppléances au lycée Charlemagne, puis devient répétiteur au lycée Louis-le-Grand ; il profite également des vacances d'été pour voyager, notamment en Suisse, selon ses carnets. Cette même année, il entre en « rapports avec M. Le Verrier pour collaboration », ce qui semble pourtant sans suite, et suscite des « conférences de physique et de chimie chez [lui] ». En novembre 1855, il obtient une autre licence, cette fois ès sciences physiques. Cette année-là, il commence à donner des cours de mathématiques élémentaires, de physique et de chimie à Alfred Grandidier[155] et entame des études pratiques au laboratoire de la Sorbonne. Il continue à voyager en 1856 (voyages d'agrément en Asie mineure, en Egypte) : son périple l'emmène de Marseille à Alexandrie, Jérusalem, Le Caire ou Malte. En 1857-1858, il effectue son premier voyage scientifique pour le compte du Ministère de

---

[153] Sur les éléments biographiques concernant Janssen, voir : BIGOURDAN, Guillaume, « Jules Janssen », *Bulletin Astronomique*, n°25, 1908, pp.49-58 ; CHAUVEAU, *CRAS*, 1907, t.145, pp.1318-1319 ; DE LA BAUME PLUVINEL, Aymard, «Jules César Janssen», *Astrophysical Journal*, n°28, 1908, pp88-99 ; LEVY, Jacques, «JANSSEN, Pierre Jules César», *Dictionnary of Scientific Biography*, pp.73-78 ; NORDMANN, Charles, «Jules Janssen», *Revue Générale des Sciences*», Paris, 19ème année, 30 mars 1908, pp.223-225 ; RADAU, R. et DESLANDRES, H., «Discours prononcés aux funérailles de Janssen», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1909, pp.C1-C11 ; SAGNET, Léon, «Janssen. Notice Biographique», *Grande Encyclopédie*, t.20 ; VERDET, Jean-Pierre, *Astronomie et Astrophysique, Textes Essentiels*, Larousse, 1993, pp. 751-779 ; AMALRIC, Pierre, « Jules Janssen (1824-1907) : from ophtalmology to astronomy », *Documenta Ophtalmologica*, 81, 1992, p.37-42 ;AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633 ; CHAPIN , Seymour L., « P.J.C. Janssen and the advent of the spectroscope into astronomical prominence », *Griffith Observer*, vol.48, fasc.7, 1984, p.2-15 ; LAUNAY, Françoise, «Jules Janssen et la photographie», in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22-31.

[154] Janssen deviendra d'ailleurs professeur de physique générale à l'Ecole Spéciale d'Architecture de 1865 à 1871 ; ce sera son seul enseignement.

[155] Alfred Grandidier sera élu académicien en 1885, dans la section de géographie. Lui et son frère Ernest furent des voyageurs et naturalistes importants : Alfred Grandidier est surtout connu pour ses voyages et ses études sur Madagascar, dont il réalisera la première étude approfondie, par ses relevés géodésiques, ses travaux en minéralogie, en zoologie, en anthropologie et même en linguistique.

l'Instruction Publique afin de fixer à travers le Pérou la position de l'équateur magnétique. Atteint de dysenterie, il frôle la mort et revient précipitamment en France.

En 1859, il devient alors précepteur dans la famille Schneider au Creusot, où la visite des forges l'amène à s'intéresser au fonctionnement de l'œil, en particulier l'absorption des rayons « obscurs »[156]. Sur ce sujet, il prépare alors une thèse « Sur l'absorption de la chaleur rayonnante obscure dans les milieux de l'œil » qu'il soutiendra à la Faculté des Sciences de Paris en 1860. Il cherche dans son travail à établir la raison pour laquelle l'œil ne paraît pas sensible aux rayons de chaleur obscure. Il se sert ainsi de son expérience dans les forges du Creusot: « Ainsi, ayant eu l'occasion d'assister souvent à la coulée de hauts fourneaux, j'ai remarqué que le rayonnement du bain de métal en fusion, rayonnement si intense et si douloureux pour la figure, n'affecte les yeux en aucune façon; de manière qu'on peut suivre sans fatigue les diverses phases de cette opération, si l'on a la précaution de se garantir le visage avec un masque qui découvre seulement les yeux »[157].

Janssen réalise ce travail en collaboration avec l'ophtalmologue Follin, professeur à la Faculté de médecine de Paris. Sa thèse lui a offert ainsi un premier contact avec le spectre solaire ; en effet, dans un article publié la même année avec Follin, Janssen écrit: «Si l'on examinait maintenant le spectre [solaire] au point de vue photographique c'est-à-dire au point de vue de son action sur les substances chimiques impressionnables, on reconnaîtrait que c'est vers sa partie inférieure, c'est-à-dire dans les rayons bleus, violets, et plus bas encore dans la portion invisible (qui est la région des rayons qu'on appelle ultraviolets) que se trouve en général l'action photographique »[158].

Janssen tente de mesurer l'absorption dans les divers milieux de l'œil (humeurs aqueuse et vitrée, cristallin, cornée), subie par les 'rayons de chaleur rayonnante': il constate une absorption très proche de celle de l'eau. Ce fait sera déterminant pour ses futures études sur le spectre de la vapeur d'eau que nous détaillerons dans la deuxième section de ce chapitre. De plus, Janssen va travailler à cette occasion en collaboration technique avec le constructeur Ruhmkorff, notamment pour le perfectionnement d'un appareil de Nobili et Melloni qui « se compose de deux petites tiges de métaux différents et soudées par une de leurs extrémités; les deux autres extrémités sont reliées à un galvanomètre. S'il se produit un échauffement ou un refroidissement de la soudure, un courant électrique prend naissance et produit une déviation

---

[156] À l'époque, on entendait par rayons obscurs ce que nous appelons aujourd'hui rayonnement infrarouge.

[157] JANSSEN, Jules, « Mémoire sur l'absorption de la chaleur rayonnante obscure dans les milieux de l'œil », *Annales de Chimie et de Physique*, 3è série, t.60, 1860, p.72.

[158] Cité in LAUNAY, Françoise, *op.cit.*, p.24.

du galvanomètre. On obtient des déviations plus sensibles en réunissant plusieurs éléments de piles semblables. On peut les disposer dans un même plan et aussi superposer les séries ainsi obtenues; on contiendra les soudures paires, et le côté opposé les soudures impaires. L'ensemble est placé au fond d'un cornet qui y concentre les rayons calorifiques que l'on veut mettre en évidence. La pile de Melloni comportait des éléments de bismuth et d'antimoine »[159]. Janssen et Ruhmkorff travaillent ensemble, sur les indications de Janssen, pour perfectionner cet appareil et arriver à une sensibilité suffisante : « Cet habile artiste a bien voulu en construire plusieurs jusqu'à ce que nous ayons obtenu un instrument suffisant »[160]. Ce côté instrumental fait évidemment partie de sa formation et caractérise pleinement son approche. Il note dans un carnet en 1851, alors qu'il suit en parallèle les cours de la Sorbonne : « expériences et confections d'instruments de physique », et amènera Charles Nordmann à écrire de lui qu' «[…] il avait compris qu'il est, dans les sciences expérimentales, quelque chose non moins utile que le talent : les instruments de travail »[161].

Le 8 juin 1860, Janssen présente sa thèse à Paul Desains, l'un des représentants importants de l'optique française. Il dépose son mémoire à Henri Hureau de Sénarmont le 13 juillet, et rencontre Desains à l'OP le samedi 21 juillet, qui l'invite à présenter son mémoire à l'Institut. Le 25 juillet, c'est à l'abbé Moigno, vulgarisateur important, rédacteur de la revue *Cosmos*, qu'il porte son mémoire. Enfin, le vendredi 17 août, Janssen est « reçu docteur », selon l'expression indiquée dans son carnet. Il ne quitte pas pour autant l'ophtalmologie, et continue à fréquenter l'atelier de Rumhkorff, et d'autres constructeurs comme Duboscq, Chevalier ou Soleil : le 22 avril, il présente ainsi à l'Académie un mémoire sur un nouvel ophtalmoscope, en collaboration avec Follin qu'il voit aussi régulièrement. En octobre 1861, c'est chez le constructeur Nachet qu'il travaille sur un microscope stéréoscopique. Enfin, le lundi 16 décembre, Janssen visite un cataracté à l'Hôpital Lariboisière, et réalise, selon son carnet, la première expérience sur l'absorption de chaleur obscure de l'œil[162]. L'année 1862 verra un changement de direction important dans la carrière scientifique de Janssen : c'est le virage vers la spectroscopie.

---

[159] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909, p.46-47.
[160] JANSSEN, Jules, *op.cit.*, p.72.
[161] NORDMANN, Charles, « Jules Janssen «, *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, Paris, 19è année, 30 mars 1908, p.224.
[162] Nous devons probablement entendre œil humain, ses expériences précédentes étant réalisées sur des animaux.

1.2.2 De l'ophtalmologie à la construction de spectroscopes

Janssen raconte qu'en 1862, il est frappé par les travaux de Kirchhoff et Bunsen. Il écrit par exemple en 1871 :

> Le Mémoire de MM. Bunsen et Kirchhoff faisait alors, dans le monde scientifique, une grande et légitime sensation. Les travaux des savants d'Heidelberg venaient, en effet, de constituer définitivement la méthode d'analyse par le spectre, et cette méthode donnait aussitôt d'admirables résultats: c'était la découverte de métaux nouveaux, l'explication enfin trouvée des mystérieuses raies du spectre solaire, et l'analyse même de l'atmosphère de cet astre, dans laquelle on retrouvait un grand nombre de nos métaux. Frappé, comme tout le monde, de la beauté de ces résultats, je construisis un spectroscope et répétai les principales expériences.[163]

L'étude de ses carnets montre comment, seul, il parvient à se former et à innover dans ce nouveau champ de la spectroscopie astronomique en mettant au point un nouvel appareil : le spectroscope à vision directe. Janssen s'est inspiré d'un prisme composé d'Amici : il s'agit d'un dispositif constitué d'un prisme de flint et de deux prismes de crown. Cette disposition permet au rayon lumineux de n'être pas dévié tout en assurant une bonne dispersion. Ses carnets montrent qu'il développe des idées de spectroscope à 2, 5 et 9 prismes. Il présente en octobre 1862 une note sur trois spectroscopes, tous à vision directe, et composés de 4 ou 5 prismes. Son objectif est de proposer des spectroscopes pouvant se substituer ou s'adapter facilement à l'oculaire d'un télescope. Mais il vise également des applications pour la chimie : Janssen s'inspire des spectroscopes monoprisme fabriqués dans l'atelier de Duboscq pour la chimie, qu'il fréquente assidûment d'après ses carnets. Mais Janssen met également au point d'autres spectroscopes, son souci étant que la lumière ne change pas de plan lors des passages par les prismes, pour gagner en confort et en pureté [164]. Janssen travaille chez lui, tout en collaborant étroitement avec d'un côté les constructeurs (Ruhmkorff, Duboscq, Soleil, Nachet, Bréguet, Lorieux, Hoffmann notamment), et de l'autre les scientifiques (Babinet, Desains, Balard, Moigno, Faye). Il achète lui-même le matériel (glaces, prismes, lentilles, miroirs, galvanomètre, chronomètre,…) puis confectionne ses appareils dans son cabinet ou

---

[163] JANSSEN, J., « Etudes sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1871, 4è série, t.23, p.282-283.

[164] A propos des spectroscopes à vision directe, on consultera : WARNER, Deborah Jean, «Direct vision spectroscopes», *Rittenhouse*, 7, 1993, p.40-48 ; David Aubin, *op.cit.* ; BENNET, J.A., «The Spectroscope first decade», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, vol.4, 1984, p.3-6 ; SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie*, Paris, Masson, 1888, p.35 ; SCHELLEN, Heinrich, *Spectrum Analysis in its application to terrestrial substances*, Londres, Logmans, 1872.

chez les constructeurs. Pendant les deux années séparant sa thèse de la publication, à l'Académie des Sciences, de sa première note concernant le spectroscope à vision directe en octobre 1862, Janssen réalise de constants allers retours entre les ateliers des constructeurs, et les laboratoires des savants pour les informer de ses travaux et recueillir leurs conseils. Ses carnets montrent en outre qu'il fréquente toujours les grands lycées parisiens [165], où il trouve idées et appuis.

Janssen passe donc de façon naturelle de l'ophtalmologie à la spectroscopie et observe enfin les « 1ères raies du spectre » le 23 janvier 1861. Mais c'est avec l'opticien Hoffmann qu'il progresse le plus. Ses carnets indiquent une première visite le 22 mars 1862 (suivie d' « études spectroscopiques » le lendemain), puis on note quasiment tous les jours jusqu'à sa publication « étude des prismes Hoffmann ». Le 16 mai 1862, Janssen signale la « construction du spectroscope avec la lunette de 40 mm et retour du rayon »[166]. Après divers essais, il opte pour un spectroscope à 5 prismes, avec lequel il peut commencer de réelles « études spectroscopiques » sur les spectres des gaz. Puis, il imagine des dispositions à 9 prismes, à 2 prismes inclinés et reçoit Hoffmann chez lui fin août, certainement pour mettre enfin au point le nouvel instrument.

Cependant, la collaboration entre Janssen, le scientifique, et Hoffmann, le constructeur, va tourner court lors du voyage que Janssen effectue en Italie à la fin de l'année, voyage sur lequel nous reviendrons plus loin. En effet, si Janssen obtient du Ministère de l'Instruction Publique une mission pour profiter du climat plus propice de l'Italie en ce qui concerne des études solaires, il va également recevoir un accueil chaleureux des astronomes et physiciens italiens en ce qui concerne ses spectroscopes. Il écrit à ce sujet une lettre éloquente à sa femme, qui montre l'ambiguïté des rapports entre Janssen et Hoffmann :

> Pour ce qui touche à mes études, je te dirai que j'ai qqs (sic) fois du Soleil. Peut-être trois ou quatre fois plus qu'à Paris, mais pas autant que je le désirerais. J'ai construit avec mon optique de rechange un nouveau

[165] Dans les années 1850, il est en effet préparateur au Lycée Louis-le-Grand et au Lycée Charlemagne, lycées qui disposent de nombreux instruments scientifiques pour l'enseignement.

[166] Il s'agit d'un spectroscope à 3 prismes : la lumière passe dans le train de prismes une première fois, puis est réfléchie par la face étamée du dernier prisme. D'où l'expression « retour du rayon », disposition permettant de doubler la dispersion. De plus, la construction permettant d'éviter l'introduction de lumières étrangères, ce spectroscope assure au spectre une grande pureté et une précision accrue. Le dessin de son spectroscope se trouve dans le carnet cité plus haut, tandis que l'on en trouve une description ultérieure en 1863 : JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques, recueillies et publiées par Henri Dehérain*, t.1, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929, p.60.

spectroscope qui j'espère sera très supérieur encore à l'ancien. Mais il me faut du Soleil et un ciel pur et c'est difficile partout au mois de novembre.

Mon petit spectroscope continue ses conquêtes, tous ces Messieurs en veulent et écrivent à Paris à cet effet.

L'abbé Moigno a écrit à un de ces Messieurs pour l'engager à se procurer mon instrument. Mais il a dit que l'instrument était de MM. Hoffmann, j'étais en [illisible]. Hoffmann a passé par là et je vois là l'effet de mon absence. Que veux-tu ma chère enfant, il faut de la philosophie et celui qui a des idées doit se résigner d'avance à se voir plus ou moins voler. J'aime mieux être volé que voleur et je remercie Dieu de m'avoir placé à cet égard parmi les premiers.[167]

Le différend devient public lorsque Janssen, dans la revue *Les Mondes* de l'abbé Moigno du 16 juillet 1863, écrit qu'« En résumé, lorsque M. Hoffmann se dit l'inventeur du spectroscope, il abuse de la confiance que j'ai eue en lui, comme constructeur, en lui fournissant mes dessins et mes modèles »[168].

Il apparaît donc que l'innovation instrumentale est au cœur des débuts de l'AP, Janssen n'étant pas enclin à céder ses appareils aussi facilement. Ainsi, lors de ce voyage en Italie, la correspondance entre lui et sa femme indique qu'il refuse de vendre ses spectroscopes[169], alors qu'il continue à améliorer ses appareils sur place, requérant l'aide de sa femme pour lui envoyer du matériel resté dans son cabinet. Il décrit même sous forme de lutte le comportement à adopter envers ses homologues italiens, et tente de se prémunir également des tentatives de mainmise d'Hoffmann sur ses appareils : « Il faut défendre son bien mais avec modération et être très philosophe sur ces sortes d'accidents [?] et on se fait beaucoup d'ennemis. Néanmoins, je pense qu'il est nécessaire que tu envoies chez Hoffmann (la bonne par exemple) pour retirer un morceau de carton qui était le plan du mécanisme qu'il n'a pas fait et dont je puis avoir besoin […] »[170]

La richesse de ces carnets nous permet ainsi de mieux cerner les caractéristiques de la formation de Jules Janssen. Il s'est formé en constante collaboration avec les constructeurs d'un côté, et les scientifiques de l'autre, surtout des physiciens et aussi un chimiste, Henri Sainte Claire Deville à l'Ecole Normale Supérieure. En l'absence d'une solide instruction en

---

[167] *Lettre de Janssen à sa femme, le 22 octobre 1862*, Bibliothèque de L'Institut, MS 4133, n°39.
[168] Jules Janssen, *Œuvres Scientifiques, recueillies et publiées par Henri Dehérain*, t.1, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929, p.53.
[169] *Lettre de Janssen à sa femme, le 11 avril 1863*, Bibliothèque de L'Institut, MS 4133, n°60.
[170] *Lettre de Janssen à sa femme, novembre 1862*, Bibliothèque de L'Institut, MS 4133, n°44.

mathématiques et ayant une préférence pour l'image, il fait une description visuelle et illustrée des phénomènes, comme le confirment les nombreux dessins ponctuant ses carnets. Il dessine les hommes qu'il rencontre, les raies qu'il observe, les configurations matérielles qu'il met au point ou qu'il constate ailleurs (notamment en Angleterre, où il rencontre Warren de la Rue, William Huggins et Norman Lockyer).

Fig. 1.2.1 : Spectroscopes de Janssen.
Source : Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°8 ; JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques, recueillies et publiées par Henri Dehérain*, t.1, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929, p.42.

1.2.3 Etudes spectroscopiques

Fasciné par les travaux de Kirchhoff et Bunsen, Janssen entreprend donc en 1862 une nouvelle voie de recherches. Il installe pour cela un petit observatoire sur le belvédère de sa maison, rue Labat à Montmartre, et y observe le spectre solaire assidûment : cette pratique, hors de circuits académiques, apparaît pourtant dans la continuité des Fizeau ou Foucault, qui ont eux aussi utilisé leur domicile comme laboratoire. Janssen commence alors à s'intéresser aux raies noires dont l'intensité varie au cours de la journée : très accusées le matin et le soir, elles sont très faibles lorsque le Soleil passe au méridien. Il les nomme raies telluriques, nom qu'elles possèdent toujours à l'heure actuelle, et soumet ses résultats et le spectroscope qu'il crée expressément au physicien français Jacques Babinet:

> Je soumis alors ces faits à M. Babinet. Ce savant, si profondément versé dans la théorie des phénomènes optiques, voulut bien leur accorder de l'importance, et m'appuyer auprès du Ministre d' Etat. Je reçus alors la mission de continuer ces études en Italie, sous un ciel plus favorable que le nôtre.[171]

Prenant date dès 1862, il fait publier deux notes dans les *CRAS*, l'une sur les résultats qu'il obtient, l'autre sur trois spectroscopes qu'il imagine et fait construire dans les ateliers de l'opticien Hoffmann. C'est Babinet qui présentera l'un de ses spectroscopes à la séance du 6

[171] JANSSEN, J., « Etudes sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1871, 4è série, t.23, p.284.

octobre 1862 de l'Académie des sciences. Ainsi parrainé, Janssen entreprend donc un voyage de quelques mois en Italie; après Florence, où il rencontre les astronomes Govi et Donati (Donati est déjà très réputé pour la découverte d'une comète en 1858, dont il compare le spectre avec celui de l'étoile Arcturus), il se rend à Rome en novembre 1862 et collabore avec le directeur de l'observatoire du Collège romain, astronome réputé et spécialiste du Soleil. Comme le note David Aubin[172], sa rencontre avec Secchi signifie pour Janssen sa véritable entrée dans le monde de l'astronomie professionnelle. Il découvre à Rome un climat propice, à la fois pour les conditions météorologiques, mais également pour l'ambiance de travail: Secchi met à la disposition de Janssen tout le matériel dont il a besoin. Là, Janssen va étudier des spectres stellaires: il pointe un spectroscope de son invention vers Sirius et l'étoile α d'Orion, et constate encore la présence de raies dues à l'absorption de l'atmosphère terrestre.

Fig. 1.2.2 : Spectres du Soleil et de Sirius
Source : JANSSEN, J., « Etudes sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique,* 1871, 4è série, t.23, planche 1.

De retour à Paris, le 25 avril 1863, Janssen va solliciter une nouvelle mission scientifique de la part du Ministre de l'Instruction Publique, Victor Duruy: l'Académie juge donc ses travaux d'une importance suffisante. Fizeau, rapporteur de la commission constituée à la demande du Ministre pour examiner la requête de Janssen (commission composée, outre Fizeau, de Pouillet, Le Verrier et Faye), écrit alors:

> Dans la séance du 21 décembre dernier [1863], l'Académie a reçu communication d'une Lettre de M. le Ministre de l'Instruction Publique, ayant pour objet de soumettre à l'examen de l'Académie un travail de M. Janssen, docteur ès sciences, chargé, en 1862, d'une mission scientifique en Italie, afin d'y étudier, sous un ciel plus favorable, divers phénomènes de physique céleste, relatifs principalement à la constitution du spectre solaire et à celle des spectres obtenus avec la lumière des étoiles.
>
> M. le Ministre de l'Instruction Publique signale également plusieurs autres communications antérieurement présentées par le même auteur, sur lesquelles il désire connaître l'appréciation de l'Académie, ainsi que son avis sur l'utilité qu'il pourrait y avoir à continuer la mission confiée à M. Janssen.
>
> [...] En résumé et comme conclusion, votre Commission reconnaît l'importance des recherches auxquelles M. Janssen s'est livré avec persévérance et habileté, et considérant que son travail n'est pas achevé et que la nature des observations réclame des appareils dispendieux, ainsi que certaines circonstances de sérénité et

[172] AUBIN, David, *op.cit.*

de transparence dans l'atmosphère qui ne se rencontrent que rarement sous le ciel de Paris, elle est d'avis qu'il serait désirable que la mission confiée à M. Janssen pût lui être continuée, dans des conditions favorables à l'achèvement de son travail.[173]

Janssen prépare donc une nouvelle expédition et s'installe sur le Faulhorn, une montagne de l'Oberland bernois située à 2683m d'altitude, à l'automne 1864. Après observation du spectre solaire, lunaire et de celui de Sirius[174], Janssen arrive à distinguer les groupes de raies dus au Soleil, et ceux dus à l'atmosphère, les raies qu'il appelle telluriques. C'est ainsi la première fois que Janssen montre de l'intérêt pour une station de haute altitude dans ses études, intérêt qui se transformera bientôt en un impératif observationnel pour la nouvelle astronomie qu'il commence à dessiner. Non content de ce premier succès, Janssen va réaliser une deuxième expérience, inspirée des travaux des physiciens écossais Brewster et Gladstone et qui s'étaient soldés par un échec: observer à plus de 20 km de distance la lumière produite par une source, cette lumière traversant une grande étendue d'eau. Janssen pressent en effet que l'absorption et les 'lacunes' spectrales qu'il observe dans le spectre solaire sont dues à la vapeur d'eau dissoute: le 2 octobre 1864, il réalise cette expérience entre Nyon et Genève, la lumière traversant l'air au-dessus du lac de Genève sur une distance de 21 km, et aboutit à un résultat plus que positif: il réussit à créer artificiellement certains groupes de raies telluriques. Son « Mémoire sur les raies telluriques du spectre solaire »[175] est alors couronné par le prix Bordin d'optique décerné par l'Académie des sciences, accompagné d'une récompense de 1 500 F: Janssen signe un succès total et inaugure une nouvelle période dans l'astronomie, celle de l'astronomie expérimentale.

<u>Fig. 1.2.3</u> : Spectre solaire obtenu au Faulhorn et spectre de la flamme d'un bûcher observé au lac de Genève.

<u>Source :</u> JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques, recueillies et publiées par Henri Dehérain,* t.1, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929, p.96.

---

[173] « Rapport sur un mémoire et sur plusieurs Notes de M. Janssen se rapportant à l'analyse prismatique de la lumière solaire et de celle de quelques étoiles ; Rapporteur : M. Fizeau. », *CRAS*, 1864, t.58, p.795-796.

[174] Sirius est une étoile visible seulement en hiver sous nos altitudes, et s'élève peu sur l'horizon. C'est de plus l'étoile la plus brillante du ciel.

[175] JANSSEN, J., « Mémoire sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1865, t.60, pp. 71-93.

Fig. 1.2.4 : Etudes spectroscopiques relevées dans un carnet de Janssen
Source : Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°11.

Fig. 1.2.5 : Etudes spectroscopiques relevées dans un carnet de Janssen (2)
Source : Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°11.

Poussant encore plus loin la détermination des groupes de raies responsables de l'absorption atmosphérique, Janssen transpose le 3 août 1866 ses observations spectroscopiques à l'usine à gaz de la Villette. En enfermant de la vapeur d'eau dans un tube de 37 m de long et à une pression de 7 atm, Janssen observe les mêmes groupes de raies que dans le spectre solaire : c'est le spectre de la vapeur d'eau que Janssen obtient, et qu'il ne cessera de traquer tout au long de sa vie. Il se situe ainsi dans la lignée des travaux de Brewster et Gladstone, essayant de déterminer toujours mieux la part due à l'atmosphère ou au Soleil dans la production des raies fraunhoférienne: « Ces travaux sur l'action élective de notre atmosphère, et sur celle de la vapeur d'eau en particulier, étendaient considérablement le champ de l'analyse spectrale; en effet, outre les atmosphères incandescentes telles que celle du Soleil, on pouvait maintenant étudier aussi les atmosphères froides des planètes et y chercher la présence ou l'absence d'eau, élément capital pour l'entretien de la vie: c'est ainsi qu'en 1867 il put démontrer la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars »[176].

L'année 1867 voit de nouvelles missions pour Janssen : il va observer tout d'abord une éclipse annulaire de Soleil en Italie, à Trani, le 6 mars. Il est ici envoyé pour la première fois par le Bureau des Longitudes. Il poursuit sa mission en Grèce pour y effectuer l'analyse spectrale des gaz émis par le volcan de l'île de Santorin. La même année, il est missionné par l'Académie des Sciences pour accompagner Charles Sainte-Claire Deville en vue de la réalisation d'études magnétiques et topographiques. Nous verrons dans le chapitre 1.4 que l'année 1868 marque un tournant important de la carrière de Janssen : l'observation d'une éclipse totale de Soleil en Inde, d'une durée exceptionnelle, lui apportera la reconnaissance

[176] BIGOURDAN, Guillaume, *op.cit.*, p.52.

nationale et internationale, de même qu'elle le dirigera vers des recherches d'imagerie solaire plus que d'analyse chimique.

1.2.4 Style et sociabilité

A propos des débuts de Janssen en spectroscopie astronomique (c'est-à-dire pour nous de 1860 à 1868, année de la fameuse éclipse de Soleil qui le fera définitivement reconnaître, et que nous étudierons dans le chapitre 1.4), une question se fait jour : en quoi consiste son style, sa méthode scientifique ?

En effet, si Janssen n'appartient à priori à aucune école, et ne travaille pas dans un laboratoire ou une institution reconnue, comment peut-il créer de la nouveauté ? Janssen est en fait un homme qui sait profiter et faire jouer un large réseau de relations : il se situe aux carrefours des disciplines, et réussit à mener à bien ses projets. Dans cet effort de sociabilité, la Société Philomathique de Paris a joué un rôle important : Janssen y entre en 1865 mais y publie depuis quelques années déjà[177]. Antichambre de l'Académie des Sciences, la Société Philomathique a rassemblé les personnages les plus illustres de la science française: Berthollet, Monge, Chaptal, Arago, Thénard, Gay-Lussac, Ampère, Fresnel pour n'en citer que quelques uns. Parmi les scientifiques qui ont gravité autour de Janssen, on y trouve Babinet, Régnault, Edmond Becquerel, Péligot, Le Verrier, Desains, Faye, Fizeau, Foucault, ou encore Lippmann. Plus tard, lors de la célébration du centenaire de la Société Philomathique en 1888, Janssen note ainsi l'ambiance qui a présidé à ses débuts:

> La Société Philomathique a toujours été chère à l'Académie. D'abord parce que la plupart de ses membres et souvent les plus illustres vous ont appartenu avant d'entrer dans son sein, parce que vous les lui aviez en quelque sorte préparés et que bien souvent vous les avez révélés au monde savant et désignés à son choix; [...] Oui, Messieurs, j'ai conservé un souvenir reconnaissant envers une société qui m'a permis d'être en rapport sur un pied d'indulgente égalité avec les Claude Bernard, les Foucault, les Bour, et tant d'autres éminents esprits. Quelles délicieuses et fructueuses soirées, celles que je passais alors dans le vieux local de la rue de Nesles, quand, en quelques instants, je voyais élucider les questions les plus hautes et les plus diverses, sur le ton charmant de la causerie, avec cet abandon, cet imprévu, ce laisser-aller même, qui donne au commerce avec le génie un double charme: celui de le voir en quelque sorte déshabillé et d'assister aux opérations mêmes qui le

[177] Sur la Société Philomathique, voir : THOMAS, André, *La Société Philomathique de Paris et Deux Siècles d'histoire de la Science en France,*Colloque du Bicentenaire de la Société Philomathique de Paris, PUF, Paris, 1990.

conduisent à la découverte de la vérité, et celui d'être bienveillamment admis à y prendre part! Quelles excitations pour un jeune savant ![178]

Parmi les scientifiques qui ont influencé et aidé Janssen, apparaît tout d'abord Jacques Babinet. C'est lui qui recommande Janssen à Benjamin Gould, alors directeur de l'observatoire Dudley à Albany, lorsque Janssen entreprend son voyage d'exploration scientifique en 1857 en compagnie des frères Grandidier.[179] De même, Babinet l'encourage et lui propose des sujets de recherche, comme le suggère cette lettre :

Monsieur,
Vous avez résolu complètement, et j'ajoute hardiment le premier, la question des raies obscures d'absorption produites dans la partie rouge et orange du spectre solaire par l'atmosphère de la terre, et votre travail laisse bien loin derrière lui ce qu'a fait l'astronome royal d'Ecosse Piazzi Smith dans son excursion au Pic de Teneriffe. Je regrette beaucoup que notre climat de Paris ne vous soit pas plus favorable, car votre appareil est aussi satisfaisant qu'on peut le désirer.
Je vous indiquerai comme objet d'étude important, l'effet de l'atmosphère sur les rayons les plus réfrangibles du soleil, et de plus, si vous trouvez une station favorable, les raies du spectre des étoiles que vous seul pouvez, je pense, étudier avec succès.
Ce dernier travail, comme le premier, ferait honneur à notre science française.
J'ai l'honneur d'être, Monsieur, votre très dévoué serviteur et appréciateur. [180]

La lecture des carnets de Janssen confirme ce fait : Janssen fréquente assidûment Babinet entre 1862 et 1864 : comme nous l'avons déjà vu, c'est d'ailleurs Babinet qui présentera les spectroscopes de Janssen à l'AdS. De la même façon, Janssen va rencontrer, sinon collaborer avec, Foucault. Ses carnets montrent une première visite chez Foucault le 3 décembre 1863, puis Janssen note pour le jeudi 11 février 1864 : « chez M. Foucault pour les étoiles »[181]. Le vendredi 19 février, Foucault le reçoit à l'OP, et le lundi 22 février, Janssen utilise le télescope à miroir de verre argenté de 40 cm de Foucault, installé depuis 1859 à l'OP. Ainsi, Janssen peut, de 21h30 à 1h du matin, régler le télescope et ajuster son spectroscope, et observer le spectre de Sirius. A nouveau le 24 mars, Janssen passe une deuxième « séance de

[178] JANSSEN, Jules, « Discours prononcé à la séance du 15 septembre 1900 du Congrès international d'aéronautique dans la grande salle de l'observatoire de Meudon », *L'Aéronaute*, septembre 1900.
[179] *Lettre de Babinet à M. Gould, Dr de l'observatoire Dudley (Albany) le 27 octobre 1857*, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4134, n°282.
[180] *Lettre de Babinet à Janssen le 20 août 1862*, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4134, n°283.
[181] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°10.

nuit », à l'OP. Il travaille encore à une pièce d'adaptation de son spectroscope au télescope de Foucault, et observera le spectre de Jupiter les 24 et 25 mai 1864.

Si Babinet a assurément aidé Janssen au tout début de ses recherches, Faye sera un soutien encore plus important pour lui, et aussi un maître à penser. D'après les carnets de Janssen, il semble que la rencontre entre Janssen et Faye le 22 septembre 1863 soit déterminante pour la suite de ses travaux : nous verrons plus loin (chapitre 1.4) que Faye va trouver en Janssen un allié 'observationnel' important pour valider son modèle solaire, en rupture avec les idées des physiciens allemands, Kirchhoff en tête. Le 25 novembre 1863, Janssen reçoit une lettre de Faye plus qu'éloquente sur l'espoir que ce dernier porte en Janssen :

> Pour moi, Monsieur, qui saisit avant tout, dans les découvertes nouvelles, le côté de l'astronomie, je dis que cette science là n'est pas moins intéressée à votre œuvre que la physique et la chimie. Les astronomes s'occupent aujourd'hui, dans presque tous les grands observatoires, d'analyser la lumière des principales étoiles et d'en comparer les raies à celles du spectre solaire, afin d'obtenir quelques notions sur la constitution chimique des mondes les plus éloignés : n'est-il pas clair que le succès de ces recherches implique la nécessité d'une carte solaire parfaitement exacte ? En outre la constitution chimique de la surface solaire peut varier dans la suite des temps, et ces variations nous seraient révélees par l'analyse de la lumière qu'il nous envoie : il importe que nous léguions aux siècles futurs les élémens d'une comparaison qui donnera probablement la clef de bien des énigmes. Enfin, la question de l'atmosphère du soleil, si longtemps et vivement débattue, attend en part de vos travaux une solution.[…]
> Vos travaux, Monsieur, sont de nature à éclairer vivement l'obscurité de ces questions, à résoudre ces contradictions, à jeter les bases de grandes recherches réservées à l'avenir. [182]

Faye va ainsi permettre à Janssen d'être introduit auprès des décideurs politiques, comme en témoigne cet extrait d'une lettre écrite par Faye en 1863 : « J'allais mettre à la poste la lettre que vous m'avez demandée lorsque l'idée m'est venue de la remettre directement au Ministre afin de mieux préparer la voie à votre démarche. Je pense avoir bien fait. Quand vous demanderez une audience, elle vous sera certainement accordée et vous pourrez vous appuyer sur cette lettre dont je regrette de n'avoir pas un double »[183]. Le fait est d'importance car, entre juin 1863 et juillet 1869, c'est Victor Duruy[184], qui occupe la fonction de Ministre de l'Instruction Publique, et décide du financement des missions scientifiques. Comme le note

---

[182] *Lettre de Faye à Janssen le 24 novembre 1863*, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4135, n°146.
[183] *Lettre de Faye à Janssen, avant novembre 1863*, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4135.
[184] Duruy, préoccupé par l'alphabétisation et l'instruction, développera les cours pour adultes et l'enseignement secondaire des filles. Il créera de plus l'Ecole Pratique des Hautes Etudes en 1868, permettant ainsi l'existence en France de laboratoires financés directement par l'Etat et exclusivement dédiés à la recherche scientifique.

David Aubin, « l'Instruction Publique se voit donc appelée à arbitrer parmi les propositions, et non plus simplement à les financer indirectement par l'intermédiaire de ses établissements scientifiques »[185]. Sensible au développement scientifique, Duruy soutient Janssen dans la réalisation de ses expéditions. Notamment, il lui permet de partir aux Indes pour le compte du Bureau des Longitudes, afin d'observer l'éclipse totale de soleil de 1868. Janssen lui rendra plus tard hommage, notant au sujet de la découverte d'une méthode d'observation des protubérances hors éclipse à la suite de l'observation de celle de 1868 que « Cette découverte a été faite en 1868, pendant la grande éclipse du mois d'août , que les astronomes français allèrent observer aux Indes, dans les meilleures conditions, grâce à l'appui du ministre d'alors, M. Duruy, dont le nom est resté cher à la France libérale, grâce aussi à l'Académie des Sciences et au Bureau des Longitudes. »[186]

La sociabilité scientifique de Janssen traduit ainsi son approche : travailler aux frontières de la physique, de la chimie et de l'astronomie. C'est pour cette raison qu'il affectionne les rencontres, adhère à de nombreuses sociétés savantes (voir chapitre 2.2 sur ce point), assurant sa présence lors de conférences, congrès, …. L'un des avantages que Janssen tire de ces rencontres est de maintenir constamment en alerte son esprit scientifique et d'enrichir sa pratique grâce à l'expérience de ses interlocuteurs. Ainsi Janssen déclarera plus tard toute l'importance qu'il attribue à ces réunions :

> C'est en effet, Messieurs, un des fruits et peut-être même le fruit le plus important de ces réunions, que les rapports personnels qu'ils établissent entre des hommes qui sans doute se connaissaient et s'appréciaient déjà par leurs travaux, mais qui n'avaient pas eu l'occasion de se voir et de causer des sujets de leurs études.
> Un auteur ne se donne pas tout entier dans ses écrits. Souvent le meilleur fruit de ses méditations, de ses travaux, reste en lui et à son insu. Une conversation vive et amicale avec un partenaire qui a suivi la même carrière, fait surgir ces trésors et il en résulte des idées, des points de vue nouveaux, des sujets même d'études qui agrandissent et souvent même renouvellent l'horizon intellectuel.[187] »

En définitive, il est difficile d'attribuer à Janssen une 'aire' de recherche bien définie. En ce sens, nous trouvons pertinente l'analyse de Matthias Dorries au sujet de Victor Regnault.

---

[185] AUBIN, David, « La Métamorphose des éclipses de soleil », *La Recherche*, juin 1999, n°321, p.82.
[186] JANSSEN, Jules, « Notice sur les progrès récents de la physique solaire », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1879, in JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques, recueillies et publiées par Henri Dehérain*, t.1, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929, p.381.
[187] JANSSEN, Jules, « Discours prononcé à la séance du 15 septembre 1900 du Congrès international d'aéronautique dans la grande salle de l'observatoire de Meudon », *L'Aéronaute*, septembre 1900.

Dorries montre en effet que, au milieu du XIX^{ème} siècle, il n'existe pas encore d'espaces séparés des disciplines scientifiques : en prenant l'exemple de Victor Regnault, Dorries insiste sur l'idée que les chimistes et les physiciens, à ce moment, n'ont pas toujours suivi des chemins tout tracés et rationnels. Regnault est emblématique de ce fait : il s'est montré précurseur dans certains domaines (statique des fluides, mesures de la pression saturante de la vapeur d'eau, de la chaleur spécifique des gaz, préparation de dérivés chlorés de l'éthylène, utilisation de l'acide pyrogallique comme agent de développement photographique), abandonnant ensuite ses recherches dès que d'autres s'y intéressaient. Lui aussi s'est montré dans de nombreuses sociétés et institutions, et a réussi, par ce biais entre autres, à transférer des méthodes communes en physique ou en astronomie dans le domaine de la chimie. C'est surtout à un niveau expérimental que ces croisements disciplinaires ont été possibles : plus qu'un homme de théorie, Dorries montre que Regnault a été surtout un expérimentateur, un homme de méthodes à la recherche de la précision[188]. Il nous apparaît ainsi que Janssen montre un style identique à celui de Regnault, ceci révélant plus un trait caractéristique de cette époque qu'une marginalité souvent invoquée à son sujet : entre 1860 et 1868 (date de l'éclipse de soleil évoquée plus haut), Janssen emprunte certaines méthodes à la chimie et conçoit des instruments utilisables dans divers domaines, va du Soleil aux étoiles en passant par l'atmosphère terrestre. Il rencontre ainsi des chimistes (Henri Sainte-Claire Deville à l'ENS par exemple), des physiciens (Fizeau, Desains, Babinet, D'Almeida[189], …), des astronomes (Faye), et fréquente à la fois la Société chimique, la Sorbonne, l'ENS, l'OP, la Société Philomathique, les ateliers des constructeurs (Ruhmkorff, Hoffmann, Duboscq, …), les vulgarisateurs (Figuier, Moigno entre autres). Son travail est lui aussi expérimental et technique, et c'est par ce moyen qu'il réalise une continuité et une passerelle entre les différents domaines de recherche.

En conclusion, le parcours et l'approche manifestés par Janssen ne nous apparaissent pas très différents d'autres scientifiques de son époque. Ses débuts ophtalmologiques, et donc proches de la médecine, rappellent ceux de Fizeau et Foucault, et témoignent d'une science

---

[188] Au sujet de Regnault, Dörries note également que celui-ci n'a pas eu réellement d'élèves, mais plutôt des collaborateurs, et des étudiants étrangers en quête de méthodes expérimentales. Nous verrons plus loin (chapitre 3.1) que ce trait sera partagé par Janssen lorsqu'il dirigera l'observatoire de Meudon.

[189] Il s'agit très probablement de Joseph Charles d'Almeida, dont le nom est souvent cité dans les carnets de Janssen qui lui montre ses spectres et le rencontre à de nombreuses occasions dans les années 1860, et note également avoir assisté à ses conférences en mars 1855. D'Almeida était professeur de physique au lycée Henri IV, auteur d'un *Cours élémentaire de physique* avec Augustin Boutan, et également fondateur du *Journal de Physique* en 1872.

d'observation et ancrée dans la pratique. Janssen, à l'instar de Foucault, ne mathématise pas ses résultats, mais vise l'innovation technique, ce qui lui permet de se faire connaître et, en diffusant ses méthodes, de s'imposer, en France comme à l'étranger, dans un champ interstitiel, aux frontières de la physique, de la chimie et de l'astronomie.

D'autre part, Janssen ne se distingue pas non plus des savants étrangers qui s'illustrent au même moment dans le domaine de l'AP. En effet, Jack Meadows, John Lankford et Karl Hufbauer ont tous trois montré que l'AP a débuté par des recherches solaires qui ont initié puis guidé les recherches astrophysiques. Meadows explique pour sa part que cet intérêt pour le Soleil tient dans la grande luminosité de l'astre (permettant une forte dispersion en spectroscopie), mais également dans l'étude des relations Soleil/ Terre[190]. Ce dernier point nous paraît important, notamment parce que Faye a été l'un des premiers à proposer une théorie rendant compte des apparences solaires (taches notamment) : nous développerons ce thème ultérieurement (chapitre 3.2), en analysant de quelle façon en France les idées cosmogoniques ont pu participer au développement de l'AP. Meadows dresse de plus un tableau des styles du petit nombre de scientifiques impliqués en AP : motivés par des intérêts multiples, ce sont en général des physiciens ou des astronomes lassés des travaux de routine, et pour lesquels les liens avec la chimie sont importants. Meadows précise qu'en Grande-Bretagne, les premiers astronomes physiciens n'avaient pas de formation mathématique, tandis qu'aux Etats-Unis, ces précurseurs possédaient une formation en physique.

John Lankford a, de son côté, étudié plus particulièrement le cas américain[191]. Il fait ainsi remarquer que les précurseurs américains de l'AP ont en général manqué de formation académique, qu'ils ont travaillé à la périphérie de la communauté astronomique instituée. Lankford qualifie ces initiateurs d' « outsiders », libres de sélectionner leurs sujets de recherche en dehors des sujets imposés par la tradition, insistant sur le fait que ces outsiders ont été conduits par leur imagination et par les opportunités, imposant longtemps l'AP comme un domaine de recherche plus que d'enseignement.

---

[190] MEADOWS, A. J., « The origins of astrophysics », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.3-16 ; MEADOWS, A. J., « The new astronomy », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.59-72.

[191] LANKFORD, John, *American Astronomy, Community, Careers and Power, 1859-1940*, University of Chicago Press, Chicago and London, 1997.

Hufbauer va dans le même sens lorsqu'il écrit que les pionniers de la physique solaire ont préféré l'exploration à la démonstration[192]. Pour le cas français, Hufbauer préfère qualifier les précurseurs de professionnels marginaux plutôt que d'amateurs, ce que nous pensons également : Janssen, diplômé de la Sorbonne, vit de la science et pour la science, même si certains de ses contemporains le percevront comme un amateur, car ne sortant pas d'une grande école après un parcours classique, et surtout ne travaillant pas de façon visible dans un laboratoire ou un observatoire, au moins jusqu'en 1876. Cette catégorie de 'professionnels marginaux' au XIX^{ème} siècle, serait d'ailleurs à préciser et approfondir.

Le contexte français a cependant largement influencé l'approche de Janssen. Nous avons montré comment ses carnets traduisent le goût pour l'optique qu'il développe au contact des Faye, Fizeau, Foucault, Babinet, Verdet, ainsi que le style instrumental qu'il partage avec les physiciens opticiens, style qui suppose l'innovation technique et la collaboration avec les constructeurs. Mais la transmission de l'approche humboldtienne des phénomènes (que nous avons caractérisée dans le chapitre 1.1) s'est également effectuée par le biais de Faye : pour Janssen, l'AP est avant tout une science où se combinent les différents savoirs. Car la complexité des forces physiques à l'œuvre dans tout phénomène naturel implique la coopération des compétences des savants[193] : cette approche, à l'opposé d'une hiérarchisation positiviste des sciences, conduit Janssen à penser l'AP comme une « histoire naturelle conduite dans un observatoire »[194]. Et la cartographie du spectre solaire que Faye invite Janssen à réaliser est le prolongement évident du nécessaire travail d'observation et de cartographie qu'Humboldt a initié durant la première moitié du XIX^{ème} siècle. Ce qui suppose une science de voyages, une science de l'observation et de l'image que Janssen cultivera en 1868 par sa mise au point d'une méthode d'observation des protubérances solaires hors éclipse (voir chapitre 1.4), et par son travail photographique initié à l'occasion du passage de Vénus en 1874 (voir chapitres 2.1 et 2.2).

<u>Fig. 1.2.6</u> : Arago et Faye, dans un carnet de Janssen

<u>Source :</u> Bibliothèque de l'Institut, Ms 4126, carnet n°8

---

[192] HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Johns Hopkins University Press, Baltimore et Londres, 1993.

[193] Voir à ce propos : DETTELBACH, Michael, « Humboldtian science », in *Cultures of Natural History*, JARDINE, N., SECORD, J.A., SPARY, E.C. (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, p.287-304.

[194] *Ibid.*, p.299.

1.3 L'Astronomie physique et l'Ecole Normale Supérieure

L'Ecole Normale Supérieure a représenté pour Janssen un lieu privilégié, où il a trouvé des ressources nécessaires à la poursuite de ses études et à la fabrication de ses appareils. Est-il alors légitime de penser que l'ENS ait pu constituer un foyer de développement pour l'AP. La question est d'autant plus pertinente que l'ENS est devenue, au cours du XIX^{ème} siècle, une institution concurrente de l'Ecole Polytechnique en ce qui concerne sa capacité à former des scientifiques investis dans la recherche et dans l'enseignement supérieur, ainsi qu'à devenir elle-même un lieu de recherches.

Sous cet angle, il nous est paru intéressant de porter une attention particulière à cette institution, d'autant plus que Laetitia Maison, dans sa thèse récemment soutenue, a étudié l'observatoire de Bordeaux et son directeur Georges Rayet[195], un scientifique issu de l'ENS après la réorientation que Pasteur imposera à l'Ecole. Rayet est l'un des exemples de normaliens qui, au cours des années 1870-1880, vont être appelés à diriger un grand nombre d'observatoires de province : Rayet à Bordeaux, Edouard Stephan à Marseille, Charles André à Lyon, Jules Gruey à Besançon. De même, , nous avons montré, avec Laetitia Maison, au travers de trois figures emblématiques de l'AP française, de quelle façon l'origine normalienne de certains scientifiques a pu participer à favoriser ou non le développement de l'AP en France.[196] Nous nous attacherons dans ce chapitre à décrire la place de l'ENS dans la recherche française au milieu du XIX^{ème} siècle, puis à détailler certains parcours individuels. Nous réserverons au prochain chapitre l'analyse particulière de l'éclipse de 1868 qui amènera Janssen à devenir la figure de proue de l'AP française, au détriment de normaliens pourtant très présents et novateurs.

---

[195] MAISON, Laëtitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2004.

[196] LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

1.3.1 Une institution montante de la science française : l'Ecole Normale Supérieure

L'ENS, issue de l'Ecole Normale fondée par la Convention le 9 brumaire an III (30 octobre 1794) et du décret de mars 1808, va connaître tout au long du XIX^{ème} siècle une évolution importante[197]. Craig Zwerling postule ainsi que « l'essor de l'Ecole Normale Supérieure en tant que centre d'éducation scientifique et le relatif déclin de l'Ecole Polytechnique peuvent être mieux compris dans le cadre d'une restructuration plus large de la communauté scientifique française, en réponse à l'émergence d'une économie industrielle en France. »[198] De plus, Zwerling écrit qu' « à partir du milieu du XIX^{ème} siècle, une carrière scientifique réussie typique commencerait habituellement à l'Ecole Normale […] »[199]. L'ENS acquiert tout au long du siècle une influence croissante, notamment par sa capacité à faire pénétrer ses idées au sein de l'Université. De plus, les schémas de carrière des normaliens évoluent : l'agrégation va devenir moins importante, au profit de la thèse de doctorat et d'une carrière orientée vers la recherche. Nicole Hulin a ainsi relevé que 25 % des normaliens soutiennent une thèse entre 1830 et 1864, contre 40 % entre 1865 et 1909. Zwerling, pour sa part, note que si 19 % des normaliens scientifiques se dirigent vers la recherche entre 1808 et 1856, ils seront 75 % entre 1857 et 1903 (alors que pour les mêmes périodes, l'orientation vers un enseignement en lycée passe de 81 à 25 %). L'évolution est sensible autour de 1850 : 24 % des normaliens scientifiques s'orientent vers la recherche entre 1840 et 1856, contre 72 % entre 1857 et 1867, soit 3 fois plus.

Cette évolution est en grande partie l'œuvre de Louis Pasteur. En effet, celui-ci devient le 22 octobre 1857 administrateur de l'ENS et directeur des études scientifiques. Dans un souci de promotion de la recherche scientifique, il obtient la création de postes d'agrégés préparateurs, permettant aux élèves agrégés de l'Ecole de démarrer aussitôt une carrière scientifique.

---

[197] Sur l'ENS, voir : HULIN, Nicole, « Un pôle scientifique. La section des sciences de l'Ecole normale supérieure. Quelques jalons de son histoire », in *Livre du Bicentenaire de l'Ecole normale supérieure*, SIRINELLI, J.F. (dir.), Paris, PUF, 1994 ; ZWERLING, Craig, « The emergence of the Ecole Normale Superieure as a centre of scientific education in nineteenth-century », in *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambride University Press, et Paris Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980, p.31-60 ; DEBRE, Patrice, *Louis Pasteur*, Paris, Flammarion, 1994 ; ANIZAN, Anne-Laure, *Paul Painlevé (1863-1933). Un scientifique en politique*, thèse soutenue le 13 juin 2006 à l'Institut d'Etudes Politiques de Paris ; MAISON, Laëtitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2004 ; GERNEZ, Désiré, « Notice sur Henri Sainte-Claire Deville », *Annales scientifiques de l'ENS*, 3^{e} série, t.11, 1894, p.3-70.

[198] ZWERLING, Craig, « The emergence of the Ecole Normale Superieure as a centre of scientific education in nineteenth-century », in *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambride University Press, et Paris Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980, p.33.

[199] *Ibid.*, p.35.

Ensuite, la création des *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure* en 1864 souligne la volonté de Pasteur d'assurer un moyen de publication aux jeunes normaliens, créant non seulement la possibilité d'être publié, mais aussi, comme Zwerling le fait remarquer, le sentiment d'appartenance à une communauté scientifique particulière[200]. Ainsi, pour reprendre l'expression d'Anne-Laure Anizan dans sa thèse sur Paul Painlevé récemment soutenue : « Désormais, les normaliens dominent le monde de la recherche par leur nombre et la qualité de leurs travaux. […] Présents dans les comités qui conseillent le ministère de l'Instruction Publique en matière d'enseignement supérieur, remplaçant des polytechniciens à l'Académie des Sciences, les anciens de l'ENS disposent d'un fort pouvoir institutionnel »[201].

Hormis Pasteur, le laboratoire de chimie de Henri Sainte-Claire Deville a joué un rôle attractif non négligeable dans le milieu scientifique français. Sous l'impulsion des Thenard ou Dumas, Sainte-Claire Deville succède à Balard, en 1851, à la chaire de chimie de l'ENS, après être devenu à vingt-six ans doyen de la Faculté des Sciences de Besançon. Les conditions de travail à l'ENS sont plus que rudimentaires à l'arrivée de Sainte-Claire Deville, Balard disposant à cette date seulement de deux pièces sombres en rez-de-chaussée pour la préparation de ses cours. Désiré Gernez note alors le changement que Sainte-Claire Deville va opérer :

> Arrivé à l'Ecole Normale, Henri Deville (sic) trouve quelques salles presque vides d'instruments, des collections formées de bocaux d'échantillons de produits industriels recueillis par Balard après les Expositions et, pour faire face aux dépenses, un crédit dérisoire de 1800^{fr} par an. Il se met à l'œuvre avec ardeur, prend possession des locaux affectés au service de la Chimie, médite, pour les agrandir, des procédés d'annexion qu'il réalisera plus tard, installe les appareils indispensables, organise son enseignement, dirige le travail des élèves et poursuit ses découvertes.[202]

Jean-Baptiste Dumas notera aussi l'ambiance qui régnait dans le laboratoire de Sainte-Claire Deville :

> Le dimanche, ses élèves et amis, réunis à l'Ecole Normale, assistaient à la répétition des expériences qu'il avait imaginées ou de celles dont on voulait le rendre témoin. Géomètres, physiciens, chimistes,

---

[200] *Ibid.*, p.50. Sur Pasteur, voir aussi : DEBRE, Patrice, *Louis Pasteur*, Paris, Flammarion, 1994.
[201] ANIZAN, Anne-Laure, *Ibid.*, p.59.
[202] GERNEZ, Désiré, « Notice sur Henri Sainte-Claire Deville », *Annales scientifiques de l'ENS*, 3^{e} série, t.11, 1894, p.11-12.

naturalistes, industriels, philosophes, historiens, gens de lettres et gens du monde, chacun se plaisait dans ce milieu sans prétention, ouvert à toutes les hardiesses, fermé à toutes idées fausses.[203]

Le laboratoire de Sainte-Claire Deville est donc un centre attracteur, y compris pour les astronomes comme l'indique cette remarque de Gernez :

> Il se produisit même un fait plus curieux encore : un astronome adjoint de l'Observatoire de Paris, en délicatesse avec son Directeur qui paraissait se plaire à entretenir avec ses administrés des relations difficiles, surtout pour eux, cherchait en vain un local pour effectuer un travail d'Astronomie physique ; Henri Deville lui offrit les caves du laboratoire, et, l'année suivante, l'astronome devenu Docteur était en situation de quitter son Directeur et d'aller enseigner l'astronomie dans une Faculté de province.[204]

Indéniablement, le laboratoire de Sainte-Claire Deville a constitué un lieu de recherches important en chimie, et nous avons déjà montré comment, notamment par le biais de Louis Grandeau, ce laboratoire a été de façon précoce un foyer d'expérimentation des recherches émergentes en spectroscopie (voir chapitre 1.1).

Ainsi, il paraît indiscutable que l'ENS connaît entre 1850 et 1870 un essor important, devenant un lieu de recherche privilégié où un certain de nombre de thèses seront préparées. On trouve d'ailleurs dans la biographie d'Eleuthère Mascart, écrite par Paul Janet, le cursus suivi par les élèves : deux années d'enseignement commun (où les cours de mathématiques sont assurés par Briot, ceux de physique par Verdet, et ceux de chimie par Sainte-Claire Deville), et une troisième année de spécialisation soit en mathématiques, soit en physique.[205]

Dans cette optique, il nous est apparu utile de regarder quels sont les normaliens qui se sont par la suite destinés à une carrière d'astronome, ou qui ont eu une influence sur le développement de l'astronomie. A l'aide du *Dictionnaire des astronomes français* de Philippe Véron, nous avons constitué le tableau suivant pour la période allant de 1851 (arrivée de Sainte-Claire Deville) à 1876 (fondation de l'observatoire de Meudon par Janssen) :

---

[203] *Ibid.*, p.10.
[204] *Ibid.*, p.62.
[205] JANET, Paul, «La vie et les œuvres de E. Mascart», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.20, 1905, p.574-593.

Nom	Prénom	Promotion	Fonctions	Domaine
ANDRE	Charles	1861	astronome adjoint à l'OP (1865) prof. d'AP à Lyon dir. de l'obs. de Lyon (1879)	mécanique céleste optique
ANGOT	Alfred	1868	préparateur de physique au Collège de France (1872-1874) météorologiste au Bureau Central Météorologique (1879)	météorologie
APPELL	Paul	1873	prof.de mécanique céleste à la Sorbonne (1912-1920)	mécanique céleste
BAILLAUD	Benjamin	1866	dir. de l'obs. de Toulouse (1879) dir. de l'OP (1908-1927) président de l'UAI (1919)	mécanique céleste
BARBIER	Emile	1857	astronome adoint à l'OP (1862-1865)	mécanique céleste
FRON	Emile	1856	physicien adjoint à l'OP (1864) chaire de physique de la fac.des sciences de Montpellier (1870) physicien titulaire à l'observatoire (chef de la division météorologique internationale) (1875) météorologiste titulaire au BCM (1878)	météorologie

GERNEZ	Désiré	1855	astronome adjoint à l'OP (1865-1866), prof. au lycée Louis-le-Grand, à l'Ecole centrale des arts et métiers, à l'ENS, dir. du labo. de chimie de l'Ecole des Hautes Etudes	
GRUEY	Jules	1859	astronome adjoint à l'OP (1865) dir. de l'obs. de Besançon (1881)	mécanique céleste chronométrie
LECHARTIER	Vital	1857	astronome adjoint à l'OP (1865-1866)	observations méridiennes
LEDUC	Anatole	1876	prof.de physique théorique et de physique céleste à la Sorbonne (1922-1926)	
MASCART	Eleuthère	1858	chaire de physique générale et expérimentale au Collège de France (1868) dir. du BCM (1873)	spectroscopie
PICARD	Emile	1874	prof. à la Sorbonne suppléant d'Appel à l'ENS (méca., astro.)	mécanique
PUISEUX	Pierre	1875	astronome à l'OP (élève en 1879, aide en 1881, adjoint en 1885, titulaire en 1904) Chef du service de la Carte du Ciel	Photographie (Lune)

RAYET	Georges	1859	physicien adjoint à l'OP (1863) astronome adjoint à l'OP (1869) chargé de cours d'AP à la Fac. des Sc. de Marseille (1874-1876) dir. de l'obs. de Bordeaux (1879-1906)	AP (spectroscopie) astrométrie
RENAN	Henri	1866	astronome à l'OP	observations méridiennes
SAINT-LOUP	Louis	1852	dir. de l'obs. de Besançon (1878-1881)	mécanique céleste
SONREL	Léon	1859	physicien adjoint à l'OP	météorologie
SOUILLART	Cyrille	1851	professeur d'astronomie (Lille)	mécanique céleste
STEPHAN	Edouard	1859	astronome adjoint à l'OP (1862) délégué à la direction de la succursale de Marseille (1866) dir. de l'obs. de Marseille (1873)	AP (interférométrie appliquée aux étoiles) observations de nébuleuses, petites planètes, nébuleuses
TISSERAND	Félix	1863	astronome adjoint à l'OP (1866) dir. de l'obs. de Toulouse (1873) prof. d'astro. à la Fac. des Sc. de Paris (1878) dir. de l'OP (1892-1896)	mécanique céleste

VIOLLE	Jules	1861	maître de conférences à l'ENS (1890) prof. au CNAM (1891)	actinométrie
VOIGT	Auguste	1850	astronome adjoint à l'OP	
WOLF	Charles	1848	astronome à l'OP (1862) chargé de cours à la Sorbonne : astronomie (1875), physique céleste (1877), AP (1892)	AP, cosmogonie, observations méridiennes.

Tableau 1 : Les astronomes issus de l'ENS, entre 1851 et 1876

Nous avons donc pu relever 23 élèves de l'ENS qui se sont distingués dans le domaine de l'astronomie. Il est à noter également que les années 1850 et 1860 sont favorables au recrutement, de par la réorganisation de l'observatoire de Paris entreprise depuis 1854 par son directeur, Urbain Le Verrier. Demandant de nouveaux moyens humains, Le Verrier est à ce propos très favorable au recrutement de normaliens : préfère t-il s'entourer de ces jeunes qui sont plus formés à la recherche que leurs collègues de l'Ecole Polytechnique dont la réforme des années 1850 a contribué à renforcer le caractère appliqué des enseignements ?[206] En effet, plusieurs éléments sont à remarquer ici. Tout d'abord, Urbain Le Verrier, suite à la découverte en 1846 de la planète Neptune, est devenu un personnage reconnu, tant au niveau scientifique que politique : en 1846, il devient académicien, membre adjoint du BdL, titulaire d'une chaire de Mécanique céleste à la Sorbonne créée pour lui par le roi. En 1849, il est élu député de la Manche, défendant la politique autoritaire du prince président, notamment contre la gauche où se trouve Arago. Après la mort de ce dernier, Le Verrier devient le premier directeur de l'OP où il concentre tous les pouvoirs : direction, réduction, publication des observations, fin des inclinations personnelles des astronomes qui doivent se soumettre à un plan de travail strict. Et, en même temps, l'OP s'affranchit de la tutelle du BdL. Alors lieu d'observation unique du BdL où Arago, vers 1840, avait emmené l'astronomie française plus vers la physique que vers

[206] Sur la réforme Le Verrier de l'Ecole Polytechnique en 1850, voir : BELHOSTE, Bruno, « Un modèle à l'épreuve. L'Ecole Polytechnique de 1794 au Second Empire », in *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994,* BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994, p.27-30 ; MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.28-35.

la mécanique céleste[207], l'OP voit s'appliquer le programme de Le Verrier, à savoir : observations méridiennes, extra-méridiennes, mécanique céleste, travaux de météorologie et de physique. On peut ainsi noter la collusion entre les diverses responsabilités de Le Verrier : d'un côté, Le Verrier réforme l'Ecole Polytechnique qui connaît alors une crise profonde, de l'autre il prend possession de l'astronomie française. L'Ecole Polytechnique ne répond plus en effet depuis longtemps aux besoins de son époque, à savoir la révolution technique et industrielle qui s'est engagée, et à laquelle Arago, qui a dirigé l'Ecole Polytechnique en 1830, n'a pas su s'adapter. En 1850, Le Verrier cherche comment mettre fin à l'enseignement excessivement abstrait de l'Ecole, et la remettre sur les rails d'un enseignement pratique et appliqué, voire utilitaire. Parmi les changements qui vont s'opérer, on peut remarquer que le cours de mécanique va se trouver séparée de l'analyse, et réuni à celui des machines pour former un cours de mécanique appliquée, la physique expérimentale devenant un cours majeur de l'Ecole. Nous verrons plus loin que chez Alfred Cornu, futur professeur à l'Ecole Polytechnique, le rapport entre physique et mécanique rationnelle issu de cette époque (supposant alliance entre empirisme et rigueur mathématique) sera d'une grande importance vis-à-vis du développement de l'AP. Finalement, à côté de ce retour vers l'application engagé par Le Verrier à l'Ecole Polytechnique, l'Ecole Normale affirme sa spécificité scientifique et peut plus facilement attirer ses élèves vers la recherche. Laetitia Maison écrit ainsi que « Cette brèche, dans laquelle s'engouffre ardemment Pasteur, vaut bientôt à l'ENS de jouir d'un plus grand prestige que l'Ecole polytechnique. On comprend mieux, dans ce contexte, les motivations d'un Le Verrier sans doute quelque peu amer vis-à-vis de sa propre réforme et convaincu de la nécessité de s'attacher les meilleurs éléments afin de mettre en œuvre son programme de recherche à l'Observatoire »[208].

Ainsi, parmi les 23 normaliens que nous avons identifiés, seuls 5 vont s'adonner à des travaux d'AP : Wolf, Rayet, Stephan, Violle et Mascart. Nous avons fait figurer Eleuthère Mascart qui, même s'il ne deviendra pas astronome (comme Violle d'ailleurs), va réaliser des travaux importants en spectroscopie solaire. Nous allons donc détailler, ci-dessous, la teneur des travaux de ces cinq personnages.

---

[207] Voir FEURTET, Jean-Marie, *Le Bureau des Longitudes (1795-1854). De Lalande à Le Verrier*, Thèse de l'Ecole des Chartes soutenue le 17 mars 2005.
[208] MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.33.

1.3.2 La spectroscopie stellaire de Charles Wolf et Georges Rayet

Après avoir obtenu l'agrégation en 1851 puis enseigné dans des lycées de province (Nîmes, Metz), Charles Wolf soutient en 1857 une thèse s'intéressant au rapport entre la température et la capillarité. Il est alors chargé du cours de physique à la Faculté des sciences de Montpellier. C'est là que, avec son collègue Emile Diacon, il étudie le spectre des métaux alcalins. Tous deux découvrent alors une relation entre l'allure du spectre et la température de la vapeur métallique. Wolf en déduit qu'il est possible, à partir d'un spectre, de connaître la température du corps impliqué ; en particulier, il serait possible d'obtenir la température du soleil.[209] En 1860, Wolf accepte de faire partie d'une des expéditions françaises visant l'observation de l'éclipse totale de soleil en Espagne. Selon Puiseux (1855-1928) c'est à la lecture du rapport de mission que Le Verrier décide de l'engager « pour faire revivre à l'observatoire de Paris le service d'astronomie physique languissant depuis la mort d'Arago »[210]. Wolf est alors nommé astronome titulaire à l'OP en 1862, avec la responsabilité de former les élèves astronomes à l'emploi des instruments.

Wolf va ainsi former puis collaborer avec Georges Rayet. Ce dernier, né à Bordeaux, débute ses études supérieures dans la capitale où, suite à des difficultés financières, la famille s'est installée. En 1859, il est refusé à l'admissibilité de l'Ecole Polytechnique mais reçu 4^{e} à l'ENS[211]. Jeune agrégé de sciences physiques en 1862, Rayet est envoyé pendant un an comme professeur de lycée à Orléans. Il retourne néanmoins fréquemment à Paris, en particulier pour rendre visite à son camarade de promotion, Edouard Stephan, rentré directement après l'ENS à l'OP. Hippolyte Marié-Davy, alors météorologiste à l'observatoire, propose au jeune Georges Rayet une place de physicien adjoint au sein de son service. Rayet accepte et entre ainsi, en 1863, dans la plus importante institution de recherche astronomique en France. À l'OP, tout en occupant ses journées par des travaux météorologiques, Georges Rayet, passe une partie de ses nuits à réaliser des observations spectroscopiques avec Wolf : parmi les élèves, Rayet semble en effet le plus intéressé par la nouvelle technique d'analyse. Ainsi, d'après le travail réalisé par Laetitia Maison aux Archives municipales de Bordeaux, on apprend que le premier travail de spectroscopie de l'OP est réalisé par Wolf et Rayet en 1866

---

[209] WOLF, Charles, DIACON, Emile, « Note sur les spectres des métaux alcalins », *CRAS*, t.55, 1863, p.334-336. Voir aussi : LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, *op.cit.*

[210] Notice nécrologique de Charles-Joseph-Etienne Wolf, *Association amicale de secours des anciens élèves de l'ENS*, 72^{e} réunion générale annuelle, 12 janvier 1919, p.8-12. Cité in LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, *op.cit.* p.61.

[211] LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, *op.cit.* p.60.

sur la nova de la constellation de la Couronne Boréale, où les deux astronomes constatent l'existence de bandes brillantes qu'ils attribuent à des vapeurs incandescentes[212]. En 1867, après avoir construit eux-mêmes leur spectroscope, les deux hommes découvrent des étoiles dotées, non d'un spectre d'absorption -ce qui est la norme-, mais d'un spectre d'émission. Elles seront appelées plus tard « étoiles Wolf-Rayet ».[213]

Leur spectroscope est composé d'un prisme à vision directe (comme celui de Janssen, vu au chapitre précédent), fixé à la place de l'oculaire du télescope de Foucault de 40 cm de l'OP (télescope avec lequel Janssen avait déjà réalisé certaines recherches de spectroscopie astronomique comme nous l'avons vu), dans un dispositif sans fente :

> Le télescope newtonien de M. Foucault est l'instrument spécial de la spectroscopie ; tous les rayons étant réfléchis également par le miroir argenté, le spectre est partout également fourni et également pur. Or il se prête merveilleusement à la substitution instantanée de l'oculaire spectroscopique à l'oculaire ordinaire. Un prisme multiple à vision directe est monté directement dans l'axe de l'appareil, immédiatement en avant du prisme à réflexion totale, du côté du miroir. Son support, situé dans le plan du porte-prisme et du tube de l'oculaire, est brisé à charnière, de manière à pouvoir se rabattre en partie derrière l'oculaire. On peut donc, après avoir reconnu un astre, sans rien changer à l'appareil, en observer le spectre, ou inversement. Avec le télescope de 0^m, 40 et un prisme composé, on a pu appliquer des grossissements de 300, 400 et 600 fois, sans que les lignes fines du spectre d'Arcturus aient rien perdu de leur netteté.[214]

A l'aide de ce dispositif, Wolf et Rayet analysent la lumière de trois étoiles de la constellation du Cygne : ils obtiennent pour les trois étoiles un spectre d'émission constitué de quelques raies brillantes dont ils ne peuvent trouver la correspondance avec aucune raie connue à l'époque[215].

Fig. 1.3.1. : Spectre des étoiles Wolf-Rayet, d'après Vogel.
Source : SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Doin et fils, Paris, 1909, p.368

[212] MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.36.
[213] WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Spectroscopie stellaire », *CRAS*, t.65, 1867, p.292-296.
[214] *Ibid.*, p.295.
[215] On connaît aujourd'hui une centaine d'étoiles dites « Wolf-Rayet ». Ces étoiles massives expulsent, à la fin de leur vie, un puissant vent stellaire constitué par les produits de la combustion de l'hélium. Cette perte de matière dénude le cœur de l'étoile, permettant l'observation directe des couches profondes de l'étoile, non visibles pour les autres étoiles. (D'après le *Dictionnaire de l'Astronomie*, Paris, Encyclopedia Universalis et Albin Michel, 1999).

L'interprétation du spectre de ces étoiles a véritablement posé problème. Pierre Salet, dans son ouvrage consacré à la spectroscopie astronomique en 1909, expose les tentatives de classement de ces astres qui vont suivre. Si Secchi les rangea dans le quatrième type de sa classification, Pickering proposa de créer une cinquième catégorie contenant également les nébuleuses planétaires. De plus, si Salet cite les travaux de l'astronome Copeland en 1884, qui précise les longueurs d'onde des raies de ces étoiles, Laetitia Maison note que le premier article repéré à l'aide de la base de données NASA ADS date de 1890, écrit par Huggins. Jean Bosler, en 1928, écrit que la première étude spectroscopique minutieuse de ces astres est l'œuvre de Campbell en 1894. Bosler ajoute d'ailleurs que « Les recherches spectroscopiques ne nous ont donc guère renseignés sur le rôle évolutif de ces astres et le problème posé au début n'est toujours pas résolu »[216]. Mais finalement, Salet conclut quant à la spectroscopie stellaire en France : « A partir de cette époque, si l'on excepte les travaux de *Wolf* et de *Rayet*, qui découvrirent en 1867, les étoiles à lignes brillantes qui portent leurs noms, la spectroscopie stellaire fut assez négligée aussi bien en France qu'en Italie, et les travaux d'ensemble sur cette question furent effectuées en Allemagne »[217].
Les deux hommes s'intéresseront malgré tout aux spectres des comètes. En 1868, Wolf publie un article sur la comète de Winnecke dont il donne la position des raies brillantes ; en 1870, Wolf et Rayet s'intéressent à nouveau à cette comète, et en 1873 l'observation spectroscopique d'une comète découverte à Marseille par Borrelly les invite à suggérer la nature solide de son noyau[218].

Il paraît utile de s'interroger sur la suite de l'intérêt que ces deux savants vont porter pour l'AP. En effet, « L'étude du parcours de Georges Rayet pendant ses jeunes années dévoile ainsi un caractère porté à l'interdisciplinarité, particulièrement intéressé par des études mêlant physique et astronomie. Il apprend à organiser et à coordonner les recherches météorologiques et, aux côtés de Charles Wolf, à développer ses aptitudes techniques en construisant des spectroscopes. Dès son entrée à l'Observatoire de Paris, Rayet s'implique donc dans la branche la plus novatrice de l'astronomie française, grâce à sa formation davantage axée sur

---

[216] BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.615.
[217] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Doin et fils, Paris, 1909, p.344.
[218] WOLF, Charles, « Sur le spectre de la comète de Winnecke », *CRAS*, t.66, 1866, p.1336-1337 ;WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Sur la lumière de la comète de Winnecke », *CRAS*, t.71, 1870, p.49-50 ; WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Sur le spectre de la comète III de 1873 », *CRAS*, t.77, 1873, p.529.

la physique que sur les mathématiques »[219]. Malgré cela, nous verrons au prochain chapitre que Rayet, pour des raisons que nous détaillerons, ne pourra développer le programme d'AP qu'il désirera ardemment.

Quant à Wolf, celui-ci, en plus d'un cours d'astronomie professé depuis 1875, est chargé d'un cours annexe de physique céleste à la Sorbonne entre 1877 et 1892, puis devient professeur d'astronomie physique à partir de 1892. Mais il n'a pas publié ce cours de physique céleste. De plus, Wolf était chef d'un service d'astronomie physique à l'OP depuis la fin des années 1870, mais il semble peu actif. En effet, ses publications font peu mention d'articles d'astronomie physique (il observe avec un spectroscope et un polariscope la comète b 1881 par exemple). Ainsi, comme le signale le procès-verbal de la séance du Conseil de l'OP du 22 janvier 1886 : « Mr Faye regrette seulement qu'à l'observatoire on s'occupe si peu d'analyse spectrale ; à Greenwich cependant, on a institué des observations régulières pour déterminer la vitesse des étoiles dans le sens du rayon visuel […] Mr Mouchez répond que c'est dans les attributions de Mr Wolf, chef du service d'astronomie physique et membre de l'Institut que rentrent les observations spectroscopiques ; le Directeur de l'Observatoire a accordé toutes les demandes faites par Mr Wolf depuis 6 ou 7 ans pour améliorer les installations du grand télescope et y installer les appareils spectroscopiques et photographiques. Ce n'est qu'à partir de cette année qu'il a refusé de continuer les dépenses pour un instrument qu'on utilisait pas »[220]. Wolf est donc peu apprécié par Mouchez comme le montre également une lettre de ce dernier à propos de l'élection possible de Wolf à l'Institut, lettre citée par Véron dans son *Dictionnaire des Astronomes Français* : « Mon cher et très honoré confrère, On me dit que vous êtes encore indécis pour votre vote de demain. S'il en est ainsi, je viens vous prier de voter en faveur de Wolf, non pas tant pour sa supériorité sur son concurrent, car ni l'un ni l'autre n'a des titres réellement sérieux, mais parce que dans la pénurie extrême où nous sommes d'astronomes en France et avec les efforts que je fais depuis 5 ans pour en recruter et améliorer ce personnel, ce serait le décourager grandement que de ne pas prendre son doyen. Il n'y a dans notre section qu'un seul astronome professionnel [Tisserand] ; Janssen est un amateur, moi je suis marin, Faye est un très spirituel romancier qui a peu figuré dans le personnel des observatoires, fort instruit d'ailleurs, mais peu pratiquement ; Lœwy est allemand et ne sort pas de notre personnel astronomique Si on prend encore Bouquet de la Grye, c'est dire à ce personnel astronomique qu'il n'est bon à rien ; cela fera un effet déplorable en France et à l'étranger parmi les astronomes. C'est ce motif qui m'a décidé et qui

[219] MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.38.
[220] *Ibid.*, p.340

j'espère vous décidera aussi ». De même Véron rapporte une lettre de Louis Bréguet à un ami le 25 mars 1883, où il dit qu'il louait Dieu d'être souffrant car il va falloir « voter pour un fainéant au lieu de voter pour un vrai et honorable travailleur ; l'un [Wolf] est un écureuil dans sa cage et l'autre [Bouquet de la Grye] un hydrographe ». L'influence et l'importance de Wolf en astronomie physique à cette époque nous semble limitée (ou relative), alors qu'il possédait un statut à l'OP et à la Sorbonne qui pourrait laisser supposer la reconnaissance d'un champ astronomique nouveau.

1.3.3 L'actinométrie de Jules Violle

Si Violle n'a pas travaillé dans un observatoire, ou réalisé des travaux directement visibles dans le champ astronomique, ses recherches ont pourtant intéressé le domaine de l'AP. Ceci montre à nouveau, comme Dorries l'a fait pour Regnault et nous-même pour Janssen, que le découpage disciplinaire à cette époque est flou, c'est-à-dire que la nature des objets étudiés ne dépend pas d'une discipline particulière.

Violle va suivre une trajectoire classique pour un normalien : après son agrégation obtenue en 1861, il devient agrégé préparateur en histoire naturelle à l'ENS en 1867, chargé de cours à la faculté des sciences de Grenoble en 1872, maître de conférences à l'ENS en 1890, et, dans le même temps, professeur de physique au CNAM.

C'est en 1874 que Violle commence à s'intéresser à la mesure de la température du Soleil. Il publie trois notes dans les *CRAS* où il cherche entre autres à préciser la notion de température de Soleil[221] : il introduit à cette occasion la *température effective* du Soleil, notion issue des récentes découvertes effectuées sur la constitution du Soleil et de son atmosphère, et qui est aujourd'hui communément utilisée par les astrophysiciens. En 1877, dans un important mémoire consacré à ce problème, il précise qu' « En effet, la constitution si complexe du globe solaire, la diathermanéité plus ou moins parfaite des couches extérieures, le mélange des radiations calorifiques venant des régions profondes avec celles qui émanent directement de la photosphère, toutes ces causes semblent s'opposer à une notion exacte de la température en un point de la surface du Soleil, et par suite à une définition précise de la température

[221] VIOLLE, Jules, « Sur la température du Soleil », *CRAS*, t.78, 1874, p.1425-1427 et p.1816-1819, et t.79, 1874, p.746-749.

moyenne. Les principes ordinaires de la thermométrie s'appliquent cependant ici sans difficulté »[222]. A l'aide de ces principes, il distingue alors la *température vraie* du Soleil : « température que devrait posséder un corps de même diamètre apparent que le Soleil, pour que ce corps, doué d'un pouvoir émissif égal au pouvoir émissif moyen de la surface du Soleil, émît dans le même temps la même quantité de chaleur qu'émet le Soleil » ; la *température effective* du Soleil : « température qu'il faudrait supposer à un disque de même diamètre apparent que le Soleil, pour que ce, doué d'un pouvoir émissif égal à l'unité, nous envoyât dans le même temps la même quantité de chaleur que nous envoie réellement le Soleil »[223].

Ainsi, déterminer la température du Soleil revient tout d'abord à déterminer l'intensité de la radiation solaire, c'est-à-dire la constante solaire. Le passage de cette valeur à la température effective du Soleil dépend alors de la loi du rayonnement de la chaleur utilisée : dès 1874, Violle accepte ainsi la loi de Dulong et Petit, et donne une valeur voisine de 1500° pour la température effective du Soleil.[224] Ensuite, cette détermination dépend, bien évidemment, du matériel utilisé. Parmi les précurseurs de cette détermination se trouvent John Herschel et le français Claude Pouillet. Ce dernier, qui introduit l'idée de *constante solaire*[225], utilise en 1837 un appareil constitué d'une boîte d'argent cylindrique plate, noircie sur une de ses bases, polie partout ailleurs ; la boîte étant remplie d'eau, la constante solaire est donnée par l'élévation de température de l'eau en un temps donné lorsque la face noircie était exposée aux rayons solaires. Violle qualifie cette méthode de dynamique, sachant que ses contemporains utilisent alors une méthode statique : « on laisse le thermomètre soumis à la radiation solaire tout le temps nécessaire pour que la température accusée par l'instrument devienne stationnaire, et l'on note alors à la fois la température de l'instrument et celle de l'enceinte »[226]. Violle met alors au point un appareil où la boule d'un thermomètre à mercure occupe le centre d'un vase sphérique maintenu à 0°C au moyen de glace entassée entre ce

---

[222] VIOLLE, Jules, « Mémoire sur la température de la surface du Soleil », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème *série* , t.10, 1877, p.289.

[223] *Ibid.*, p.290-291.

[224] A ce moment, seules les lois de Newton et de Dulong et Petit permettent le passage de l'intensité d'une radiation à la température de la source rayonnante. La loi de Newton postule que : $t - \theta = \alpha.T$ où θ est la température de l'enceinte dans laquelle on plonge la boule noircie d'un thermomètre prenant la température t sous l'effet du rayonnement d'une source de chaleur à la température T.
Selon la loi de Dulong et Petit, on a : $a^t - a^\theta = \alpha \, . \, a^T$ où a = 1,0077 et α = 1/183960.
(selon SORET, J.-L., « Sur la température du Soleil (extrait d'une lettre de M. J.-L. Soret à M. H. Sainte-Claire Deville) », *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t.3, 1874, p.435-439.)

[225] La constante solaire est la quantité de chaleur reçue normalement du Soleil pendant une minute et par centimètre carré.

[226] VIOLLE, Jules, « Sur la température du Soleil », *CRAS*, t.78, 1874, p.1425.

vase et un second, extérieur et concentrique. Dans ce système de vases est pratiquée une ouverture tubulaire orientée de façon à recevoir les rayons solaires qui vont tomber sur la boule du thermomètre : « le mercure monte aussitôt et, au bout d'un quart d'heure environ, indique une température stationnaire qui sert à mesurer l'intensité de la radiation »[227].

Fig. 1.3.2. : Actinomètre de Violle

Source : **VIOLLE, Jules, « Mémoire sur la température de la surface du Soleil », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série , t.10, 1877, p.303 et 304.**

La détermination de la température du Soleil est à ce moment l'objet de mesures extrêmement dispersées, ne permettant pas de construire un modèle solaire fiable : si Pouillet, en suivant la loi de Dulong et Petit avançait des nombres compris entre 1461° et 1761°, Waterston et le Père Secchi donneront beaucoup plus tard des chiffres de l'ordre de 7 à 10 millions de degrés.[228] On voit donc dans quelle incertitude on pouvait se trouver dans les années 1870 : Violle, pour sa part, va trouver en Sainte-Claire Deville un auxiliaire précieux. En effet, en 1875, il place ses recherches dans le sillage de la spectroscopie qui suppose l'unité et l'identité des matériaux constituant à la fois le Soleil, les étoiles et les planètes. A partir de cela, « M. Henri Sainte-Claire Deville a dès lors pu affirmer que la chaleur du soleil ne devait pas être, comme on l'avait pensé jusque là, hors de toute comparaison avec celle des sources terrestres »[229]. Ceci permet aux idées de Sainte-Claire Deville sur la dissociation de s'appliquer à la fois sur Terre et dans le Soleil[230] : « Les limites que sa grande découverte de la *dissociation* assigna aux températures industriellement réalisables s'imposent également aux températures produites à la surface du soleil par les réactions réciproques des mêmes agents chimiques que ceux dont nous disposons »[231].

---

[227] VIOLLE, Jules, « Une expédition au Mont-Blanc », *Revue des Deux Mondes*, t.12, 3ème période, 1875, p.211.
[228] Selon BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Doin et Fils Editeurs, Paris, 1910, p.118.
[229] VIOLLE, Jules, *Ibid.*, p.216.
[230] Gernez appelle les travaux de Sainte-Claire Deville « sa plus brillante découverte ». Ces travaux portèrent sur la dissociation subie par certains composés chimiques à haute température (vapeur d'eau, acide chlorhydrique, gaz carbonique par exemple) : Sainte-Claire Deville mit en évidence le fait que ses composés puissent être en équilibre avec les éléments qui le composent. Faye tirera parti de cette notion de dissociation dans ses études sur le Soleil.
[231] *Ibid*.

Cette possibilité d'une investigation de l'univers dans le laboratoire ne doit pas empêcher, selon Violle, l'expérimentation sur le terrain. Car le problème de la détermination de la température du Soleil reste dépendant, en effet, de l'absorption de la chaleur solaire par l'atmosphère terrestre, facteur négligé par les physiciens qui se sont intéressés à la question, hormis le suisse Soret et le français Desains : « La plupart des [physiciens], il est vrai, ne quittant pas leur laboratoire, se privaient des moyens d'apprécier avec quelque précision la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air depuis la surface du sol jusqu'aux confins de l'atmosphère »[232]. Ainsi, les problèmes traités par Violle sont très proches de ceux de Janssen : l'étude de l'atmosphère terrestre est un préalable à toute recherche sur le Soleil ou les astres en général, et devient un sujet qui sera une constante de l'AP française.

Ainsi, cette approche de l'atmosphère qui nécessite expérimentation au laboratoire et sur le terrain, va amener Violle à promouvoir les sites de montagne, ainsi que les mesures à l'aide de ballons sondes. Il effectue une ascension au sommet du Mont Blanc en août 1875 de façon à déterminer l'effet de l'atmosphère sur la détermination de la constante solaire. L'entreprise ne va pas de soi, et en 1875 l'ascension du Mont Blanc dans un but scientifique n'est pas un comportement 'habituel' : « Jusqu'ici le noble exemple donné par de Saussure [en 1786] a rencontré fort peu d'imitateurs, et les recherches scientifiques auxquelles semble inviter un observatoire sans rival sont encore assez rares pour qu'il ne soit pas inutile peut-être de raconter une expédition entreprise en vue de déterminer quelques-uns des élémens les plus importants de la physique du globe, et en particulier l'intensité de la radiation solaire »[233]. Cette 'performance' soit cependant nécessairement s'accompagner de tests visant à valider les mesures et à corriger les modèles empiriques obtenus. Violle réalise pour cela des mesures dans les forges d'Allevard (dans l'Isère), permettant la mesure de hautes températures telle celle d'un bain d'acier en fusion à 1500°C, se rapprochant de celle du Soleil, contrant ainsi les objections de non validité de la loi de Dulong et Petit au delà de 300°C et confirmant l'idée d'un Soleil chaud de quelques milliers de degrés seulement : « Le rapprochement de ces expériences et d'autres que je poursuis, avec les mesures directes effectuées au sommet du Mont-Blanc, paraît devoir conduire plus loin encore et permettre d'évaluer numériquement la température vraie de la surface du soleil »[234]. En 1897, Violle affirme l'utilité des observatoires de montagne pour l'AP, une position qui chez d'autres savants à cette époque ne

[232] *Ibid.*, p.210.
[233] *Ibid.*, p.204.
[234] *Ibid.*, p.216.

va pas de soi : « L'utilité des études continues dans les observatoires élevés n'est plus à établir aujourd'hui pour toutes les questions d'Astrophysique »[235]. Il cite à cette date Langley au mont Whitney, Vallot, Janssen et Crova au Mont Blanc.

L'autre facette de cette expérimentation est l'utilisation de ballons sondes, permettant une élévation beaucoup plus importante encore que les stations de montagne. Violle réalise, semble-t-il, deux essais, l'un en octobre 1897 et l'autre en juin 1898. Si le premier vol ne donne rien de nouveau à cause d'une trop faible élévation, l'autre est beaucoup plus fructueux, permettant d'affiner des mesures sur l'intensité et la nature de la radiation solaire, ainsi que sur le rôle de l'absorption atmosphérique. Pour cela, Violle a dû mettre au point un actinomètre permettant l'enregistrement de la température. Malgré le caractère pionnier plus que systématique de ses essais, Violle affirme que l' « actinométrie tirera des sondages de l'atmosphère les avantages que nous avions espérés pour une connaissance meilleure du rayonnement solaire et de l'absorption atmosphérique »[236].

Finalement, quel impact Violle a-t-il pu avoir dans le développement de l'AP ? On peut supposer qu'il a pu influencer Charles Nordmann (dont nous détaillerons les travaux au chapitre 3.3) : dans *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, en 1923, ce dernier écrit les confidences que Violle a pu lui faire sur le sujet de la détermination de la température effective du Soleil[237]. Nordmann poursuivra largement cette problématique en développant des recherches à l'OP sur la température effective des étoiles, à l'aide de son photomètre hétérochrome.

On a pu voir également les croisements et intersections qui ont existé avec les études menées par Janssen : valorisation des observations d'altitude (montagne ou ballon), intérêt pour le Soleil et, ce qui en est un corollaire, pour l'atmosphère terrestre. Janssen, futur président de la Société de navigation aérienne, représente bien cette approche scientifique : son expérience, héritée de son vol en ballon en 1870 (voir chapitre 1.4), l'amènera à promouvoir l'utilisation scientifique de ces vols. L'articulation que Janssen opérera lors de la dernière décennie du siècle entre l'observatoire de Meudon et l'observatoire qu'il construira au sommet du Mont Blanc montre comment expériences de laboratoire et observations d'altitude vont se trouver mêlées. En 1897, Janssen écrit que les travaux effectués au Mont Blanc par Crova et Hansky

---

[235] VIOLLE, Jules, « L'actinométrie et les ballons », *CRAS*, t.125, 1897, p.628.
[236] VIOLLE, Jules, « Actinométrie en ballon », *CRAS*, t.126, 1898, p.1749.
[237] NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923, p.72.

ont porté essentiellement sur la détermination de la constante solaire[238], tout en rendant à Violle sa place dans l'historique de la question.

A un niveau institutionnel, Violle entre à l'Académie des Sciences en 1897, en remplacement de Fizeau. Il s'est illustré sur le plan métrologique, en proposant un étalon d'intensité lumineuse adopté par la Commission Internationale pour la Définition des Unités Electriques. Ceci montre en outre la dimension internationale que Violle a pu prendre. En effet, dès 1893 par exemple, il assiste à l'Exposition Universelle de Chicago, à l'occasion de laquelle il donne, à son retour en France, une conférence sur « Le mouvement scientifique aux Etats-Unis », qui sera publié et dans la *Revue des Deux-Mondes*, dans la *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, et dans les *Annales du CNAM*.[239] Il y fait l'éloge de la nation américaine, tout en stigmatisant les faiblesses du système français. Il fait remarquer ainsi son extrême centralisation, en opposition avec la dispersion de l'activité scientifique américaine sur tout son territoire, la puissance mécanique américaine basée sur des machines-outils permettant la reproduction d'une pièce à l'infini, tout en concluant sur la place de la science dans la société française et la façon dont nous la percevons : « Avons-nous assez d'initiative, assez de persévérance dans l'effort, assez d'esprit de sacrifice pour ce qui est vraiment utile ? Ne traitons-nous pas trop la science en divinité, lui demandant beaucoup et lui donnant peu ? […] La haute culture intellectuelle n'est pas seulement une question de luxe élégant ou de vanité nationale »[240]. Violle fait également une revue complète des observatoires astronomiques américains, qu'il publiera d'ailleurs dans la revue *Ciel et Terre* la même année. Il note sur ce point non seulement la diversité des sujets traités, la taille importante des appareils d'observation, mais aussi l'ouverture des observatoires américains aux étudiants mais également au public : « Vous reconnaîtrez, Messieurs, qu'il n'y a peut-être pas de pays au monde où l'Astronomie soit plus en honneur qu'à San Francisco, et plus accessible à tous. Car l'Obsevatoire Lick lui-même, d'après la volonté du fondateur, est ouvert tous les jours au public de dix heures du matin à quatre heures de l'après-midi, et le samedi de sept heures à dix heures du soir »[241]. Enfin, Violle constate l'extrême mobilisation de l'ensemble de la nation américaine pour l'effort scientifique et technique lorsqu'il évoque l'observatoire fondé

---

[238] JANSSEN, J., « Sur les travaux exécutés en 1897 à l'observatoire du mont Blanc », *CRAS*, 1897, t.125, p.992-994.
[239] VIOLLE, Jules, « Le mouvement scientifique aux Etats-Unis », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.23, 1894, p.889-919.
[240] *Ibid.*, p.919.
[241] *Ibid.*, p.894.

par James Lick, un ancien marchand de pianos, notant comment « des commerçants, des industriels, des fermiers, des « transformateurs de porcs », ou, en langue vulgaire, des charcutiers enrichis, consacrent des millions à fonder des établissements scientifiques de premier ordre, qu'ils encouragent largement de leurs deniers, non pas seulement l'enseignement primaire, le plus populaire de tous, mais l'enseignement supérieur, la haute culture intellectuelle à laquelle pourtant leur éducation première les a, pour la plupart, insuffisamment préparés […] »[242].

En conclusion, Violle, qui participera également à l'International Union for Cooperation in Solar Researches fondé par l'américain Hale, nous apparaît comme un personnage qui méritera, ultérieurement, une analyse approfondie : car, comme Janssen, il montre la difficulté à isoler les pratiques et les thématiques de recherche dans telle ou telle discipline dans une deuxième moitié du XIX^{ème} siècle qui pourtant voit émerger de nouveaux champs disciplinaires comme l'AP.

1.3.4 L'interférométrie et les nébuleuses avec Edouard Stephan

Issu de la même promotion que Rayet, Stephan est vite remarqué par Le Verrier, et est nommé dès octobre 1862 astronome adjoint à l'OP. En 1866, il est délégué à la succursale de Marseille de l'OP, dont il est nommé directeur en 1873 lorsque l'établissement devient autonome : « Ce fut lui qui, avec son illustre chef, en dressa les plans, en forma les premiers astronomes et qui, grâce à une patiente activité , sut réunir les ressources nécessaires au fonctionnement des différents services »[243].
Bosler, futur directeur de l'observatoire de Marseille, note à la mort de Stephan comment celui-ci, à côté de fortes compétences en mathématiques, a tenté en même temps que Wolf et Rayet d'introduire l'utilisation de techniques propres à la physique dans le champ de l'astronomie : « Il sut aussi comprendre de bonne heure –bien avant la plupart de ses contemporains- la valeur des méthodes physiques en Astronomie, de ces méthodes vers

[242] *Ibid.*, p.893.
[243] BOSLER, Jean, « Edouard Stephan », *Journal des Observateurs*, vol.7, n°2, 1924, p.9.

lesquelles, par un juste retour, va s'orienter maintenant l'Observatoire »[244]. Bosler évoque à ce propos l'application de méthodes interférentielles pour la détermination des diamètres des étoiles. Reprenant une idée de Fizeau émise en 1867, Stephan va chercher à profiter du grand diamètre du télescope de Foucault (80 cm) installé à Marseille depuis 1864. En effet, la méthode suggérée par Fizeau prévoit que si l'on couvre l'objectif d'une lunette ou d'un télescope d'un écran percé de deux fentes symétriquement placées par rapport au centre optique, un système de franges d'interférences doit apparaître si le diamètre de l'astre visé est insensible. Au contraire, avec un fort grossissement, le diamètre de l'étoile devient non nul et les franges doivent disparaître à partir d'un certain diamètre apparent x tel que $x = \frac{103,1}{l}$, où l est la distance séparant les fentes.

Stephan est en fait porté par des expériences préliminaires qu'il effectue, dès 1873, à l'aide d'une lunette permettant un écartement de 15 cm entre les fentes : les franges apparaissent plus faibles pour l'étoile Sirius. A l'aide du télescope de Foucault, il obtient une disparition des franges pour Sirius, lui donnant « le ferme espoir que des expériences ultérieures montreront, avec évidence, que le diamètre de cette étoile n'est pas insensible, et permettront d'en obtenir une évaluation approximative »[245]. Il travaille alors à la forme à donner à l'écran utilisé, c'est-à-dire à l'allure des fentes qui assureront une quantité de lumière suffisante à l'observation tout en permettant aux franges d'apparaître. Par une analyse mathématique, Stephan propose un écran lunulaire, c'est-à-dire percé de deux lunules limitées par des cercles égaux de 80cm distants de 60cm.

<u>Fig. 1.3.3</u>. : Expériences d'interférométrie stellaire par Stephan

<u>Source :</u> Montage à partir de STEPHAN, Edouard, « Sur l'extrême petitesse du diamètre apparent des étoiles fixes », *CRAS*, t.78, 1874, p.1008-1012.

Ses premiers essais se révèlent alors infructueux : aucun système de franges ne disparaît, même pour Sirius, laissant penser que les expériences précédentes avaient été perturbées par des ondulations atmosphériques excessives. La seule conclusion à laquelle Stephan aboutit est

[244] *Ibid.*
[245] STEPHAN, Edouard, « Sur les franges d'interférences observées avec de grands instruments dirigés sur Sirius et sur plusieurs autres étoiles ; conséquences qui peuvent en résulter, relativement au diamètre angulaire de ces astres », *CRAS*, t.76, 1873, p.1010.

une limite maximum attribuée au diamètre apparent des étoiles : « Il en résulte de là qu'aucune des étoiles examinées ne possède un diamètre apparent atteignant 0'', 158 […]. »[246] Nous verrons plus loin(chapitre 3.3) comment ces études interférométriques seront reprises à l'OP par Maurice Hamy notamment.

Hormis cette recherche qui constituera plus tard un élément important de l'astrophysique, Stephan a consacré la majeure partie de son travail à la découverte de nébuleuses, à l'aide du télescope de Foucault : Yvon Georgelin indique qu'entre 1869 et 1885, Stephan va découvrir environ 800 nouvelles nébuleuses, dont un groupe porte aujourd'hui encore son nom : le quintet de Stephan. Le travail de Stephan en AP a donc été très limité, ses principaux travaux répondant, comme nous le verrons plus loin pour Rayet, à une culture de l'observation qui imprègne la nouvelle génération d'astronomes, culture à l'œuvre de façon exemplaire dans la future entreprise de la Carte du Ciel.

1.3.5 Spectroscopie et métrologie par Eleuthère Mascart

Le dernier savant dont nous évoquerons les travaux est Eleuthère Mascart qui, après l'agrégation obtenue en 1861, devient agrégé préparateur en histoire naturelle, ce qui lui permet de rester à Paris et de préparer une thèse à l'ENS sur le spectre solaire ultra-violet et la détermination des longueurs d'onde, qu'il soutient le 2 juillet 1864. La même année, il épouse la fille de Briot, son professeur de mathématiques à l'ENS, qui aurait aimé voir son élève et gendre embrasser une carrière mathématique ; selon Paul Janet, « la Physique l'emporta, mais la trace de la forte culture mathématique de Mascart se retrouva plus tard dans toutes ses œuvres, et leur donna une vigueur que n'atteindront jamais les expérimentateurs purs »[247].
Après un passage dans un lycée de province, à Metz, il revient à Paris où il enseigne au lycée Napoléon, au lycée de Versailles, puis au collège Chaptal, avant de remplacer pour un temps Verdet à l'ENS. En 1868, il rentre au Collège de France pour suppléer Regnault. Ceci lui permet d'occuper la chaire de physique générale et expérimentale de Regnault en mai 1872, lors du départ à la retraite de celui-ci : il est élu au second tour de scrutin, par 27 voix, contre 26 à Janssen… Mascart va être alors amené à occuper un grand nombre de responsabilités :

---

[246] STEPHAN, Edouard, « Sur l'extrême petitesse du diamètre apparent des étoiles fixes », *CRAS*, t.78, 1874, p.1012.
[247] JANET, Paul, «La vie et les œuvres de E. Mascart», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.20, 1905, p.575.

directeur du Bureau Central Météorologique en 1878[248], vice-président du Conseil supérieur de l'Instruction publique, président du Comité consultatif des arts et manufactures, président de la Commission des inventions au Ministère de la Guerre, membre du Bureau des longitudes, président du Bureau international des poids et mesures, du Comité météorologique international, vice-président du Conseil des professeurs du Collège de France.

Le terreau intellectuel où s'enracinent les études de Mascart est celui que nous avons décrit au chapitre 1.1, à savoir le domaine de l'optique, et en particulier dans le cadre des travaux de Fresnel et de sa théorie ondulatoire. Paul Langevin, qui sera l'élève et l'assistant de Mascart au Collège de France, note ainsi :

> Entre sa sortie de l'École Normale, onze ans auparavant, et sa nomination, à trente-cinq ans, comme professeur au Collège de France, il s'était occupé surtout de recherches d'Optique.
>
> L'optique était alors, de beaucoup, la partie la plus vivante de la physique. Kirchhoff et Bunsen venaient de créer l'analyse spectrale. La théorie des ondulations, sortie tout armée du cerveau de Fresnel, avait à peine triomphé de l'ancienne théorie de l'émission puisque l'expérience décisive de Foucault remontait à dix ans et que l'illustre Biot, le dernier défenseur des idées de Newton, était mort récemment. On était tout vibrant encore de la bataille et il fallait reconnaître plus complètement le territoire conquis. De plus, Mascart avait eu la bonne fortune de suivre à l'Ecole Normale l'enseignement de Verdet qu'il devait suppléer lui-même en 1866, et l'influence de ce maître éminent a certainement déterminé l'orientation des premiers travaux de Mascart.
>
> Ceux-ci, sur lesquels il soutint sa thèse en 1864, sont relatifs au spectre solaire ultra-violet et à la détermination des longueurs d'onde ; c'est donc à la fois de l'analyse spectrale et de la théorie des ondulations. [249]

De même, Paul Janet souligne cet enracinement dans sa biographie de Mascart : « « au contraire, l'Optique, depuis l'admirable impulsion que lui avait donnée Fresnel en créant, presque à lui seul, tout le corps de doctrine qui constitue la théorie des ondulations, n'avait jamais cessé d'être pour beaucoup de physiciens français une source de prédilection. D'ailleurs, l'étude de la lumière venait d'entrer en possession d'un domaine nouveau, grâce aux belles découvertes de Frauenhofer et de Kirchhoff […] »[250]. Ainsi, Mascart va chercher à mesurer les longueurs d'onde des raies du spectre solaire et d'une dizaine de métaux dans la

---

[248] La création de ce Bureau a conduit à la séparation de la météorologie et de l'astronomie. En effet, la météorologie, jusqu'à la mort de Le Verrier en 1877, était une des activités de l'OP. Faye s'opposera semble-t-il à cette séparation, laissant dire à son biographe, Henri de Parville, qu'il refusera pour cette raison ladirection de l'OP à la mort de Le Verrier. (voir DE PARVILLE, Henri, «Hervé Faye», *La Nature*, 1902, 30e année, 2ème semestre, p.95-96.

[249] LANGEVIN, Paul, « Eleuthère Mascart », disponible sur le site internet : http://www.annales.org/archives/x/mascart.html

[250] JANET, Paul, *op.cit.*, p.577.

partie ultraviolette. L'approche métrologique de Mascart impose le souci de la précision : pour ce faire, il innove en utilisant des réseaux, et non plus des prismes, en montrant de plus qu'il existe comme pour les prismes un minimum de déviation. De plus, outre le fait d'utiliser un appareillage constitué de lentilles de quartz n'absorbant pas l'ultraviolet, Mascart remplace l'œil par une plaque photographique, ce qui induit un certain nombre de difficultés : faible étendue du spectre imposant des mises au point successives et un raccordement des images obtenues pour obtention du spectre complet entre autres. Ces recherches auront des conséquences non négligeables si l'on suit l'avis de Pierre Salet qui écrit à propos des études de Mascart (études pionnières car hormis Mascart, seuls Cornu et Rowland s'illustreront dans le domaine de la spectroscopie utraviolette) : « L'étude de la longueur du spectre ultra-violet du Soleil, c'est-à-dire de la longueur d'onde limite de ses radiations, est très importante, parce que cette longueur dépend de la température du corps qui émet le spectre et augmente avec elle. On sait, en effet, qu'un corps que l'on chauffe de plus en plus commence par émettre des radiations calorifiques, puis les radiations du spectre visuel, et enfin les rayons ultra-violets : on peut ainsi se faire une idée de la température des astres […] »[251].

Hormis la spectroscopie, Mascart va également investir bon nombre de sujets d'optique lui permettant de consolider la théorie des ondulations de Fresnel : direction des vibrations élastiques, lois de la réflexion métallique, et surtout influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes optiques : « Le travail le plus important de Mascart en Optique, celui où il mit le mieux en œuvre ses facultés de théoricien, la clarté de son esprit, comme son habileté d'expérimentateur, sa grande habitude des mesures délicates de l'optique, est la série de ses recherches sur l'influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes optiques, entreprises pour répondre à une question posée par l'Académie des Sciences en 1870 pour le grand prix des sciences mathématiques, « Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur. » Le problème avait été soulevé par Arago au moment où l'on cherchait de tous côtés des moyens de mettre à l'épreuve les deux théories opposées de l'émission et des ondulations »[252]. Le résultat des recherches de Mascart, préfigurant, selon Langevin, la théorie de la relativité, est que « le mouvement de translation de la Terre n'a aucune influence appréciable sur les phénomènes d'optique produits avec une source terrestre ou avec la lumière solaire, que ces phénomènes

[251] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909, p.227.
[252] LANGEVIN, Paul, *op.cit.*

ne nous donnent pas le moyen d'apprécier le mouvement *absolu* d'un corps et que les mouvements *relatifs* sont les seuls que nous puissions atteindre »[253].

Il serait cependant hors de notre propos de vouloir faire une étude détaillée des travaux de Mascart.[254] Nous conclurons en mentionnant le fait que Mascart, après des études d'optique, se dirigera principalement vers des recherches d'électricité, domaine présentant un France un « retard considérable » pour reprendre l'expression de Langevin. Mascart va être amené, en lien avec ses responsabilités au Bureau Central Météorologique, à s'intéresser à l'atmosphère, et, par conséquent, à s'investir comme Janssen ou Violle, à l'intérêt que peuvent présenter les observatoires de montagne, en l'occurrence l'observatoire du Pic du Midi[255].

En conclusion de ce chapitre, il nous paraît utile de noter tout d'abord l'importance du foyer intellectuel qu'a constitué l'ENS, sous l'impulsion de savants comme Sainte-Claire Deville ou Pasteur. Au cours des années 1850 à 1870, de réels efforts ont été réalisés, faisant de ce lieu, au moins en ce qui concerne le laboratoire de Sainte-Claire Deville, un lieu ouvert : que ce soient des normaliens comme Wolf, Rayet, Violle ou Mascart, ou des scientifiques à la recherche de support technique ou théorique comme Janssen ou Grandeau, l'ENS a constitué un lieu favorable directement, ou indirectement par son rayonnement à l'extérieur (Sorbonne notamment). Ensuite, on constate qu'une culture importante pour le développement de l'AP, la culture de l'optique fresnélienne, a trouvé là, entre autres, un lieu propice : mise en relief de l'expérimentation, de l'habileté manuelle, de la construction d'appareils, ainsi que d'une culture de la précision. Finalement, on ne peut que constater que des possibilités se sont offertes dans un contexte particulier : l'ENS a joué un rôle de jonction non négligeable entre différents domaines institués comme la chimie, la physique et l'astronomie. Il reste à regarder comment ces normaliens ont pu, ou plutôt n'ont pas pu comme ils le désiraient, développer ces possibilités et ces chemins multiples.

---

[253] MASCART, Eleuthère, « Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur (deuxième partie) », *Annales Scientifiques de l'ENS*, 2ère série, t.3, 1874, p.420.

[254] On consultera pour cela les travaux de Mickaël Fonton qui prépare actuellement à l'université Paris 7 une thèse provisoirement intitulée « Du laboratoire à l'observatoire : les physiciens et la recomposition de la météorologie française. 1878-1914. »

[255] Voir à ce propos : DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, CNRS Editions, Paris, 2000.

1.4 Le temps des éclipses

Durant la décennie 1860-1870, l'attention des astronomes physiciens se porte surtout, en France et à l'étranger, vers le Soleil : l'astre du jour va révéler ses secrets aux savants nouvellement armés des outils de la spectroscopie et de la photographie. Le Soleil devient alors un réel paradigme, permettant des inférences vers la Terre ou les étoiles, suscitant des théories visant à expliquer sa constitution physique et à interpréter les apparences observées. Les moments particuliers que sont les éclipses solaires vont alors, dès 1842 mais plus encore à partir de 1860, constituer le passage obligé de la catégorie émergente des physiciens solaires, les éclipses révélant progressivement les différentes enveloppes ou singularités de l'astre : protubérances, chromosphère, couronne. Sur ces bases observationnelles, il devient possible de bâtir les théories solaires à partir du bourbier spéculatif dans lequel elles étaient jusqu'alors enlisées, entraînant des tentatives importantes parmi lesquelles la théorie de Faye jouera un rôle significatif pour les observateurs français. L'éclipse de 1868 va prendre dans cette optique une place privilégiée, notamment pour Janssen qui imaginera à cette occasion une méthode d'observation des protubérances qui s'avérera indispensable pour les recherches futures.

En dehors de cet aspect intellectuel, la poursuite des éclipses met en relief les conditions différentes dans lesquelles les astronomes physiciens français vont pouvoir évoluer. D'un point de vue institutionnel, les normaliens de l'OP vont être confrontés à une pression hiérarchique forte qui les empêchera de développer des problématiques innovantes ; alors que Janssen, profitant des conditions nouvelles résultant de la séparation du BdL et de l'OP, va disposer d'une autonomie et d'un soutien qui lui ouvrira les portes du succès scientifique et académique. Au début des années 1870, Janssen, novateur sur le plan scientifique et persuasif sur le plan institutionnel, va réussir à faire émerger, à un niveau politique, son idée d'un observatoire d'AP, lieu de science qu'il consacrera quasi uniquement à la poursuite de ce qui aura fait son succès : le Soleil.

1.4.1 La physique solaire

Comme nous l'avons vu au chapitre 1.2, les historiens de l'astrophysique (Hufbauer et Meadows notamment) ont souvent relevé que l'AP s'est d'abord constituée à partir d'études solaires, sujet de recherches qui a connu entre 1860 et 1870 une accélération permise par l'irruption dans ce domaine de nouvelles techniques comme la spectroscopie ou la photographie. Durant cette période, les pionniers de la physique solaire sont en fait peu nombreux, et c'est en Angleterre que l'intérêt pour le Soleil semble le plus grand : Hufbauer évoque les travaux de Balfour Stewart, Huggins, Lockyer, De la Rue et Carrington, soulignant l'importance des savants amateurs, le rôle fondamental joué par la Royal Astronomical Society et les possibilités d'expéditions scientifiques permises par l'étendue de l'empire britannique.[256] Aux Etats-Unis, à la fois des amateurs comme Lewis Rutherfurd, et des scientifiques professionnels comme Charles Young ont développé des travaux de physique solaire. Pour l'Europe, les précurseurs de cette discipline émergente que représente la physique solaire sont le père Angelo Secchi et Pietro Tacchini pour l'Italie, Schwabe, Wolf, Kirchhoff puis Spörer et Zöllner pour l'Allemagne, ou encore le suédois Ångström.

En France, Hufbauer cite uniquement deux « professionnels marginaux », selon son expression : Faye et Janssen. Le dépouillement que nous avons réalisé avec Laetitia Maison, comme préalable à notre étude sur les trajectoires de Janssen, Cornu et Rayet, montre bien le petit nombre de savants investis dans ce champ d'études à cette époque. Cette recherche bibliométrique, effectuée dans les *CRAS* [257], a d'abord montré que, pour le cas français, le Soleil constitue bien un objet de recherches privilégié : plus de 65% des publications dans les *CRAS* y sont consacrés (voir annexe 1). De plus, parmi ces publications, la plupart revêt un caractère théorique (voir la rubrique que nous avons appelée « soleil (hormis spectro) »). Enfin, sur les 240 publications de cette rubrique « soleil (hormis spectro) » entre 1866 et 1880, 59 sont l'œuvre de Faye, soit presque le quart, les autres auteurs n'ayant proposé qu'un nombre restreint de publications sur la même période, hormis les italiens Secchi et Tacchini. Cette étude préalable justifie donc de regarder de plus près l'apport de Faye à la physique solaire ; d'autant que les autres rubriques consacrées au Soleil (spectroscopie et photographie) signalent le fort investissement de Janssen sur le plan instrumental, ce dernier étant en quelque sorte, comme nous allons le voir, le bras 'technique' de Faye. D'autre part, la

---

[256] HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Johns Hopkins University Press, Baltimore et Londres, 1993, p.60.

[257] Les *CRAS* nous ont semblé la publication la plus révélatrice des recherches en cours à cette époque, l'Académie des Sciences étant le passage obligé de la reconnaissance scientifique. De plus, nous avons voulu aligner notre étude sur celle réalisée par Charlotte Bigg dans sa thèse sur le développement de la spectroscopie.

répartition dans le temps de ces publications indique l'accélération systématique que les éclipses solaires ont permise, notamment celle de 1868, entraînant, en 1869, 36 publications dans les *CRAS*, soit le tiers des publications sur la période considérée.

Les éclipses ont en effet joué un rôle prépondérant à partir de 1842[258]. Jusqu'à cette date, Bosler note que c'est la théorie solaire de William Herschel, datant de 1795, qui faisait le plus autorité. Pour ce dernier, le Soleil est un globe froid, obscur, couvert de montagnes et de vallées, revêtu d'une végétation luxuriante et abondamment peuplé, protégé par une épaisse couche de nuages du rayonnement intense des régions lumineuses supérieures. Son fils, John Herschel, va poursuivre et compléter son œuvre, en s'intéressant plus particulièrement aux taches solaires, et leur lien avec la rotation du Soleil. L'observation de la répartition des taches autour de l'équateur solaire et l'assimilation de celles-ci avec des phénomènes terrestres comme les alizés vont l'amener, par analogie, à comparer les taches aux points de la Terre où se forment les cyclones : « les couches supérieures sont momentanément refoulées par place avec violence, déplaçant ainsi la matière incandescente, et laissent voir la surface opaque du noyau solaire »[259]. Ainsi, John Herschel est amené à introduire l'idée de mouvements tourbillonnaires s'exerçant à la surface du Soleil.

Et, de fait, les éclipses ont assez peu intéressé les astronomes jusqu'à 1842. Bosler fait en effet remarquer que l'éclipse de 1842 présente un intérêt historique par les observations soignées des protubérances et de la couronne qui en ont été faites. Cette éclipse totale, visible en Espagne, en France et en Italie, a mobilisé la communauté astronomique, Arago en tête. Si les protubérances furent, selon Bosler, mentionnées pour la première fois en 1706 dans une lettre du capitaine Stannyan à Flamsteed, ce n'est que lors de l'éclipse de 1842 qu'un certain abbé Peytal les rattache à une enveloppe rôsatre que l'on appellera plus tard chromosphère. Ces phénomènes (couronne, protubérances, chromosphère) vont donc être l'objet de nombreux débats à partir de 1842, concernant surtout leur origine : sont-ils liés au Soleil, à la Lune ou à une illusion d'optique ? Et, comme le souligne Deslandres, « cette discussion eut tout au moins l'avantage de faire ressortir l'importance probable du phénomène ; et toutes les éclipses suivantes furent observées avec le plus grand soin, en particulier celles de 1851 et de

---

[258] Sur un historique de l'utilisation des éclipses, voir entre autres : GUILLEMIN, Amédée, *Le Soleil*, Hachette, Paris, 1880 ; DESLANDRES, Henri, « Histoire des idées et des recherches sur le Soleil », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1907, pp. C1-C146 ; BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Doin et Fils Editeurs, Paris, 1910 ; NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923 ; *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.117-118.

[259] BOSLER, Jean, *op.cit.*, p.8.

1860 »[260]. L'éclipse de 1860 marque, pour sa part, une nouvelle étape : l'utilisation probante de la photographie dans l'observation du phénomène. En particulier, les très bonnes photographies de De la Rue et celles de Secchi vont permettre de montrer, de par la petite différence de parallaxe des protubérances mesurée à cette occasion, liée à la différence de position de Secchi et de De la Rue, que les protubérances ont effectivement une origine solaire.[261]

Fig. 1.4.1. : Protubérances solaires vues pendant l'éclipse totale du 18 juillet 1860, d'après les dessins de Warren De la Rue.
Source : GUILLEMIN, Amédée, *Le Ciel*, Paris, Hachette, 1877, 5ème édition, p.148.

Grâce au développement de la spectroscopie, les éclipses suivantes (notamment celles de 1868, 1869 et 1871) vont amener une moisson de résultats concernant la constitution physique et chimique du Soleil : mise au point d'une méthode d'observation hors éclipse des protubérances (Janssen, Lockyer), analyse spectroscopique de la couronne (observation d'un spectre continu avec une raie brillante rapportée à un gaz hypothétique alors appelé coronium, par Young et Harkness), observation du spectre éclair[262] par Young et la découverte de raies noires solaires dans le spectre coronal par Janssen. Ainsi, parallèlement, les éclipses vont participer à la consolidation d'une petite communauté de physiciens solaires, leur observation et les coûteuses expéditions scientifiques s'y rattachant nécessitant la recherche de fonds pour les financer, devenant même un rite, comme a pu le noter Hufbauer[263]. Ce dernier insiste d'ailleurs sur le fait que si les observateurs étaient légions, peu revinrent avec des bons résultats, et seuls quelques « élus » en tirèrent une gloire scientifique et médiatique par des découvertes pérennes, comme celle de Janssen en 1868 qui va profondément bouleverser la pratique des physiciens solaires en dégageant la possibilité de résultats de l'observation nécessaire des éclipses. En même temps, l'acte d'observer la structure du Soleil et d'en dégager des résultats concrets, acte rompant avec la simple détermination des positions et des mouvements des corps qui caractérisent l'ancienne astronomie, va s'appliquer sur d'autres cibles comme les étoiles ou les nébuleuses : Huggins et Zöllner (qui caractérise cette nouvelle

[260] DESLANDRES, Henri, *op.cit.*, p.64.
[261] Voir à ce sujet la partie réservée à l'éclipse de 1860 dans *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.117-118, écrite par Françoise Launay et Peter Hingley.
[262] Le spectre éclair correspond à la couche dite renversante de l'atmosphère solaire, c'est-à-dire la couche caractérisée par un renversement des raies noires du spectre solaire, devenant toutes brillantes.
[263] HUFBAUER, Karl, *op.cit.*, p.65.

attitude par l'utilisation d'un nouveau terme : 'astrophysics') fondent sur un principe d'unité la possibilité d'étendre les lois de la physique et de la chimie terrestre au domaine céleste. D'autres, comme Secchi, ont assigné une place privilégiée au Soleil, n'assimilant pas, toujours selon Hufbauer, la physique solaire et la physique astronomique : le Soleil doit recevoir une attention plus particulière notamment de par sa proximité.

Faye, pour sa part, va s'engager très tôt vers la physique solaire. Dès 1849, il promeut la photographie et la télégraphie comme auxiliaires des observations solaires (voir chapitre 2.1), alors que ses précédentes publications depuis 1843 (année de sa découverte d'une comète périodique qui portera son nom et le fera connaître) intéressaient uniquement l'astronomie de position. A l'occasion de l'éclipse de 1851, il assimile les apparences observées à des mirages et non à des phénomènes réels. En 1857, en préparation de l'éclipse de 1858, il manifeste un intérêt particulier pour ce rendez-vous céleste, au point de vue non plus de la mécanique céleste, mais de la constitution physique du Soleil : « De tout temps les éclipses centrales du soleil ont excité un vif intérêt, à cause de la magnificence du spectacle qu'elles offrent à l'observateur et des services qu'elle rendent à la science pour le perfectionnement des tables et la détermination précise des longitudes ; mais, dans ces dernières années, cet intérêt s'est accru de toutes les espérances que ces beaux phénomènes nous ont fait concevoir de pénétrer enfin le mystère de la constitution physique du soleil »[264]. Pour Faye, les observations d'éclipse doivent permettre de vérifier, nuancer ou revoir la théorie solaire de William Herschel. En 1859, sur la base des expériences de Desains et De la Provostaye concernant la remise en question de la loi de l'émission de chaleur par le Soleil établie par Laplace, Faye remet en cause l'idée laplacienne de l'existence d'une atmosphère solaire[265]. Enfin, en 1861, c'est l'explication des raies du spectre solaire par Kirchhoff et Bunsen, et les conséquences que ses savants en ont tirées sur la constitution physique du Soleil (existence d'une atmosphère solaire provoquant l'absorption de lumière et l'apparition de raies sombres), que Faye discute. L'éclipse du 31 décembre 1861 doit ainsi apporter une preuve décisive de l'existence de cette atmosphère, si les raies de cette atmosphère sont vues renversées, c'est-à-dire brillantes, lorsque seul subsistera un anneau lumineux autour de la Lune. Il écrit ainsi que :

---

[264] FAYE, Hervé, « Sur les éclipses centrales de l'année prochaine », *CRAS*, t.45, 1857, p.982.
[265] FAYE, Hervé, « Sur l'atmosphère du soleil », *CRAS*, t.49, 1859, p.696-705.

Si par exemple le spectre de l'auréole qui se produira le 31 décembre prochain autour de la Lune, pendant un instant malheureusement trop court, nous offre l'inversion du spectre solaire, c'est-à-dire si les raies de Fraunhofer y sont remplacées par des raies colorées, brillant çà et là sur un fond relativement obscur, la question sera tranchée ; l'existence contestée de l'atmosphère solaire deviendra un fait acquis à la science.

Dans le cas contraire, il faudrait renoncer, non aux brillantes idées de M. Kirchhoff, mais à son atmosphère. Au lieu de placer, en effet, la couche absorbante en dehors du Soleil, ne pourrait-on la chercher dans les couches lumineuses elles-mêmes, car tout porte à croire que les rayons du Soleil ne proviennent pas seulement de la surface ; il en vient encore d'une certaine profondeur, et l'épaisseur efficace de la photosphère pourrait être considérable.[266]

Finalement, Faye est en mesure, en 1865, de proposer sa propre théorie solaire, théorie qui va marquer un tournant dans l'évolution de la physique solaire. Faye cherche en fait à construire une théorie « rationnelle » du Soleil, c'est-à-dire à construire à partir des lois de la physique un modèle permettant d'expliquer l'ensemble des observations antérieures, à savoir les taches et leur comportement (position particulière toujours proche de l'équateur solaire entre autres), les protubérances, la rotation du Soleil, la nature de la photosphère. Ce dernier point est extrêmement sensible après les travaux de Kirchhoff et Bunsen en 1859. En effet, le spectre solaire, constitué de raies noires sur un fond continu, s'explique, d'après leurs idées, par un Soleil solide ou liquide, incandescent (le fond continu), entouré d'une atmosphère suffisamment épaisse pour provoquer une absorption élective de lumière donnant les raies noires. Ceci contredit l'absence de polarisation relevée par Arago, cette expérience négative indiquant un astre gazeux. L'accumulation d'un matériau observationnel conséquent invite Faye à puiser dans les récents progrès expérimentaux de la physique ou de la chimie, de façon à sortir le problème solaire de sa gangue spéculative :

Depuis la découverte des taches du Soleil, c'est-à-dire depuis deux siècles et demi, la question soulevée par ces phénomènes n'est pas sortie du domaine des conjectures ; c'est encore dans ce domaine-là qu'il faut ranger une théorie récente qui se rattache à l'une des plus brillantes conquêtes scientifiques de notre époque.

Cependant ces conjectures n'ont pas été inutiles ; elles sont guidé les observateurs, éveillé leur attention, soutenu leur persévérance. Les faits se sont ainsi accumulés tandis que le progrès général des sciences nous familiarisait peu à peu avec cette idée que les phénomènes du monde physique doivent dépendre tous des mêmes lois. Le moment paraît donc venu d'abandonner la voie conjecturale et de chercher, non plus à *deviner* comment les choses doivent se passer à 38 millions de lieues de nous, mais à rattacher l'ensemble des phénomènes à quelques lois générales, de telle sorte que les faits paraissent être de simples déductions logiques de ces lois.[267]

---

[266] FAYE, Hervé, « Spectre de l'auréole des éclipses totales ; suggestion relative à l'observation de l'éclipse de Soleil du 31 décembre prochain », *CRAS*, t.53, 1861, p.683.
[267] FAYE, Hervé, « Sur la constitution physique du Soleil », *CRAS*, t.60, 1865, p.89.

Faye se base sur un grand nombre de résultats de laboratoires qu'il transpose donc au Soleil, fort de l'idée que ce sont les mêmes lois qui s'appliquent dans le monde terrestre et le monde céleste : mesures de Pouillet sur l'intensité de la radiation solaire, travaux de Sainte-Claire Deville sur la dissociation chimique des corps portés à haute température, idées thermodynamiques sur l'équivalence entre travail et chaleur de Mayer et Waterston et leur application au problème de l'entretien de la chaleur du Soleil par W. Thomson ou Helmholtz. La contradiction apparente entre l'analyse spectrale (Kirchhoff) et l'analyse polariscopique (Arago) disparaît pour Faye si l'on considère que ce sont des particules solides ou liquides qui, dans une flamme, sont à l'origine de l'incandescence, et non le gaz porté à haute température : de même, le Soleil est bien entièrement gazeux, mais l'émission de lumière est réalisée en surface par des particules solides ou liquides incandescentes, l'absorption étant due au gaz dans lequel baignent ces particules. Ainsi, le problème solaire se réduit à un problème de physique, à un problème de laboratoire, dont la solution porte sur l'élucidation du mécanisme permettant la formation d'une photosphère lumineuse possédant toutes les propriétés observées. Faye propose alors une première théorie en 1865, qu'il corrigera cependant au fur et à mesure des critiques qui lui sont faites, comme il avait déjà corrigé ses idées sur la nature réelle des protubérances après le caractère décisif des épreuves photographiques de De la Rue et Secchi :

> Une masse gazeuse portée primitivement à une température supérieure à toutes les affinités chimiques ne peut être incandescente à cause du peu de lumière qu'émettent les gaz ou les vapeurs portés à une haute température. Le refroidissement marche donc avec lenteur, mais il doit arriver un moment où la température des couches superficielles tombe au point où les actions chimiques commencent à se produire. Aussitôt apparaissent certaines combinaisons : les unes produisent des gaz ou des vapeurs nouvelles, tout aussi peu lumineuses que les vapeurs élémentaires ; les autres donnent lieu à des nuages de particules liquides ou mêmes solides dont l'incandescence sera au contraire très-vive. Ces particules, après avoir abondamment rayonné la chaleur et la lumière, doivent retomber, en vertu de leur densité plus forte, dans les couches inférieures où elles finiront par retrouver une température capable de les réduire de nouveau dans leurs éléments primitifs. Cette décomposition absorbe une grande quantité de chaleur et propage ainsi le refroidissement superficiel jusque dans les couches profondes. Les gaz ainsi reformés dans l'intérieur de la masse rompent l'équilibre des couches et provoquent à leur tour l'ascension d'une nouvelle quantité de vapeurs élémentaires. Celles-ci remontent à la surface où elles subissent de nouveau les phénomènes que je viens de décrire.[268]

---

[268] FAYE, Hervé, « Sur les étoiles nouvelles et sur les étoiles variables », *CRAS*, t.63, 1866, p.231.

Faye propose donc une théorie représentant le Soleil comme une machine thermique chargée de véhiculer la chaleur du centre vers la surface, dont – et c'est là un point novateur sur lequel il insiste– la masse entière participe in fine à l'émission de lumière. La photosphère est vue comme une surface limite, une « espèce de laboratoire superficiel qui détermine les contours apparents de la masse »[269], marquée par un refroidissement rendant possible le jeu de certaines affinités moléculaires.

Comme nous le détaillerons au chapitre 3.2, les idées de Faye sur le Soleil s'appliquent aussi au problème cosmogonique de la formation du système solaire, dont il désire apporter également une réponse rationnelle, non spéculative : en poussant son raisonnement, il postule que la Terre est un Soleil arrivé à la phase géologique de son évolution, la photosphère s'étant suffisamment refroidie pour prendre une consistance liquide, pâteuse puis finalement solide. De même, pour Faye les étoiles sont toutes des soleils appelées à suivre le même destin.

Et ce qui distingue le plus, à notre avis, les travaux de Faye de ses collègues, est la possibilité d'expériences de laboratoire qui, par reproduction des phénomènes naturels, peuvent apporter une caution à des considérations théoriques : ceci montre l'évolution qui se met en place au cours du XIX^{ème} siècle, à savoir l'apparition d'une science « mimétique », comme la qualifie Peter Galison, évolution que nous étudierons au chapitre 3.2. Ainsi, si Faye met souvent en avant des expériences de laboratoire censées être des reproductions fidèles de la photosphère, il écrit en 1863 un article au titre élogieux : « Sur un essai de reproduction artificielle d'un minéral cosmique »[270]. Comme à son habitude, dans une approche humboldtienne que nous avons déjà caractérisée, Faye questionne l'ensemble des domaines des connaissances : le problème solaire est un problème cosmogonique tout autant que géologique, chimique, physique, météorologique ou minéralogique. Ainsi, lorsqu'il s'intéresse aux étoiles filantes, il part du principe que « l'analyse chimique nous apprend que les principes élémentaires des aérolithes sont identiques à nos éléments, de telle sorte qu'un chimiste, pour trouver par exemple l'équivalent du fer, pourrait s'adresser indifféremment aux fers météoritiques ou à ceux de nos usines. »[271] C'est donc au laboratoire de Sainte-Claire Deville à l'ENS que Faye va procéder à une reproduction d'un minéral cosmique par réduction par le charbon d'un mélange « d'oxyde de nickel et de sesquioxyde de fer intimement mêlé avec un phosphate à

---

[269] FAYE, Hervé, « Sur la constitution physique du Soleil », *CRAS*, t.60, 1865, p.148.
[270] FAYE, Hervé, « Sur un essai de reproduction artificielle d'un minéral cosmique », *CRAS*, t.57, 1863, p.801-805.
[271] FAYE, Hervé, « Sur un essai de reproduction artificielle d'un minéral cosmique », *CRAS*, t.57, 1863, p.802.

base de soude et de la silice »[272]. Il nous est donc apparu important de développer plus tard (chapitre 3.2) cette évolution de la pratique scientifique qui marquera, entre autres, les physiciens solaires de la génération suivante comme Deslandres, et, par delà, le développement de l'AP française.

1.4.2 Jules Janssen : une mise en lumière par les éclipses de Soleil

Si Janssen adhère au début de ses recherches spectroscopiques aux idées de Kirchhoff concernant la constitution physique du Soleil, l'influence de Faye se fait sentir au fur et à mesure de ses travaux : Faye voit en Janssen un homme capable de lui apporter des faits et des preuves à l'appui de ses hypothèses. Le 22 mars 1863, Janssen rencontre Faye qui lui expose ses idées concernant le Soleil, idées qu'il n'a pas encore publiées[273]. Janssen rapporte ainsi que le Soleil n'aurait pas d'atmosphère, du moins pas aussi importante que ce qu'affirme Kirchhoff ; que le Soleil serait une masse gazeuse, idée suggérée entre autres par le mouvement de la matière photosphérique révélée par les taches solaires ; que l'observation des éclipses totales permettra de fournir un moyen décisif pour savoir s'il y a ou non une atmosphère solaire.

Ainsi, c'est un réel programme d'études qui se dessine sous l'influence de Faye. Dès le 17 mai 1863, Janssen tente d'observer une éclipse partielle de Soleil à Paris de façon à confirmer la présence ou l'absence d'une atmosphère autour de la Lune. Le temps ne le favorise pas, mais il profite de l'occasion pour promouvoir l'utilisation de l'analyse spectrale dans le domaine de l'astronomie. De même, il rappelle déjà ses efforts vers ce qui le préoccupe davantage : « Je m'occupe, depuis longtemps déjà, d'appliquer ce mode d'analyse à l'étude de la constitution physique du Soleil »[274].

Par la suite, c'est par une mission du Bureau des Longitudes que Janssen va pouvoir observer l'éclipse annulaire du 6 mars 1867 à Trani, en Italie. Il cherche, à cette occasion, à obtenir la comparaison entre le spectre des bords et le spectre du centre du Soleil, ainsi que celui de l'auréole (ou couronne solaire). Par l'analyse spectrale effectuée à une distance de la photosphère d'une demi-minute d'angle[275], Janssen n'observe, comme Forbes en 1836, aucune

---

[272] *Ibid.*, p.804.
[273] Voir annexe 2 la retranscription du brouillon de Janssen conservé à la Bibliothèque de l'Institut.
[274] JANSSEN, J., « Application de l'analyse spectrale à la question concernant l'atmosphère lunaire », *CRAS*, 1863, t.56, p.963.
[275] Pour comparaison, le diamètre angulaire du Soleil est de l'ordre de 30 minutes d'angle.

différence sensible entre le centre et les bords. Mais il reste prudent, et sait pertinemment que ses instruments manquent de précision pour se rapprocher encore plus près du bord du Soleil. Il écrit ainsi à Faye dans une lettre reproduite dans les *CRAS* : « Bien entendu que je ne puis affirmer que la lumière de l'extrême bord (une seconde ou deux, par exemple) ne présenterait aucune différence. Je ne puis conclure au delà de l'observation »[276].

C'est en fait l'éclipse du 18 août 1868 qui va lui apporter la consécration. Janssen est alors à nouveau missionné par le Ministre de l'Instruction Publique sur la demande du Bureau des Longitudes et de l'Académie des Sciences pour aller observer le phénomène dans l'Inde anglaise, l'éclipse étant prévue pour être la plus longue du siècle: 6 min 54 s. Ainsi, Janssen, sous l'impulsion de Faye[277], est officiellement chargé le 11 mars 1868 par le Ministre de l'Instruction Publique d'une mission scientifique visant l'observation de l'éclipse de 1868, avec un budget de 15 000 F pour le BdL[278]. Il s'installe, après un voyage sur le paquebot des Messageries impériales qui le débarque à Madras le 16 janvier, à Guntoor, cette station étant à égale distance des montagnes et de la mer, évitant ainsi brumes et nuages. Janssen se fixe comme objectif l'étude de la nature des protubérances. Pour cela, il transporte un télescope Foucault de 21 cm de diamètre, une lunette de 6 pouces d'ouverture, un chercheur de 2 pouces et 2 pouces ¾ d'ouverture, des spectroscopes à vision directe de différents pouvoirs optiques (adaptés aux grandes lunettes, pour lesquelles des écrans en toile noire avaient été installés de façon à conserver à l'œil toute sa sensibilité), des thermomètres, lunettes portatives, hygromètres, baromètres,...

Lors de la totalité, Janssen peut observer et analyser deux protubérances, qu'il décrit de façon très éloquente et imagée:

> Deux spectres formés de cinq ou six lignes très brillantes, rouge, jaune, verte, bleue, violette occupent le champ spectral, et remplacent l'image prismatique solaire qui vient de disparaître. Ces spectres, hauts d'environ une minute, se correspondent raie pour raie; ils sont séparés par un espace obscur, où je ne distingue aucune raie brillante sensible. Le chercheur montre que ces deux spectres sont dus à deux magnifiques protubérances, qui brillent maintenant à droite et à gauche de la ligne des contacts où vient d'avoir lieu l'extinction. L'une d'elles

[276] JANSSEN, J., « Observation de l'éclipse annulaire de Soleil du 6 mars 1867 à Trani (Italie) », *CRAS*, 1867, t.64, p.597.
[277] Faye est à ce moment un membre actif du BdL.
[278] Nous remercions chaleureusement Colette Lelay et Guy Boistel pour ces informations, qui nous ont également fait remarquer que si l'AdS a participé à hauteur de 12 000 F dans l'expédition de Janssen, il faut regarder à titre de comparaison le coût de l'installation du pavillon du parc Montsouris, soit 25 000 F. Janssen est donc largement soutenu pour cette mission, avec un budget total de 27 000 F.

surtout, celle de gauche, est d'une hauteur de plus de trois minutes; elle rappelle la flamme d'un feu de forge, sortant avec force des ouvertures du combustible, poussé par la violence du vent. La protubérance de droite (bord occidental) présente l'apparence d'un massif de montagnes neigeuses, dont la base reposerait sur le limbe de la lune, et qui seraient éclairées par un soleil couchant.[279]

L'analyse spectrale faite par Janssen montre tout d'abord que l'on passe, du disque solaire aux protubérances, d'un spectre continu avec des raies noires, à un spectre constitué d'un fond noir et de raies brillantes: ceci montre qu'il s'agit de raies d'émission (d'où présence d'un gaz). Ensuite, l'étude d'une protubérance à l'autre ne montre aucune différence. Enfin, l'analyse montre les raies rouge C et bleue F[280], c'est-à-dire la présence d'hydrogène. Les conclusions de Janssen sont alors les suivantes :

- Les protubérances sont de nature gazeuse.
- Elles présentent toutes la même composition chimique.
- Elles sont constituées entre autres d'hydrogène.

Mais la découverte la plus importante de Janssen lors de cette éclipse est autre: il va mettre au point une méthode permettant l'étude des protubérances hors éclipse. Il écrit ainsi à sa femme :

« On m'a envoyé pour observer pendant 5 minutes et je leur rapporte des Grandes Indes l'éclipse perpétuelle »[281]. Car, comme il le dit lui-même, « c'est l'éclipse qui m'a tout appris »[282]. En observant le spectre des protubérances pendant l'éclipse, il est persuadé qu'il pourra revoir les lignes brillantes même en dehors du phénomène : il constate en effet que les raies sont d'un éclat très vif, et réparties sur quelques raies seulement: en plaçant la fente à la fois sur le disque solaire et sur la protubérance, la lumière du disque doit être suffisamment étalée par rapport à celle de la protubérance pour observer le spectre protubérantiel. De plus, sa méthode était favorisée par le fait que les raies brillantes de la protubérance correspondent à des raies obscures du spectre solaire. On obtient alors une image composée des deux spectres, solaire et protubérantiel :

---

[279] JANSSEN, J., « Observations spectrales prises pendant l'éclipse du 18 août 1868, et méthode d'observation des protubérances hors éclipse », *CRAS*, 1869, t.68, p.370.
[280] Raies C et F de Fraunhofer: raies de l'hydrogène que l'on note aujourd'hui respectivement Hα et Hβ.
[281] Cité in AUBIN, David, « La métamorphose des éclipses de Soleil », *op.cit.*
[282] JANSSEN, J., « Sur l'étude spectrale des protubérances solaires », *CRAS*, 1868, t.69, p.93.

<u>Fig. 1.4.2</u>. : Méthode d'observation des protubérances (1868) et couronne solaire observée par Janssen pendant l'éclipse de 1871

<u>Source :</u> SCHELLEN, Heinrich, *Spectrum Analysis in its application to terrestrial substances*, Londres, Longmans,1872, p.387 ; JANSSEN, Jules, *Archives des Missions Scientifiques et Littéraires*, 1873, 3è série, t.1, p.103.

La méthode de Janssen, imaginée indépendamment et au même moment par Norman Lockyer en Angleterre, sera très largement utilisée par la suite. Pierre Salet note ainsi que « se trouvait fondée la méthode d'observation des protubérances et de la chromosphère en dehors des éclipses totales, méthode dont les conséquences devaient être si nombreuses et importantes »[283]. Amédée Guillemin note pour sa part :

> Il serait trop long de suivre, historiquement, les progrès que la physique et la chimie solaires ont faits depuis que la nouvelle méthode d'observation a été trouvée, puis successivement perfectionnée. En Angleterre, en Amérique, en France, en Italie, divers observateurs ont contribué à ces progrès : Lockyer, Janssen et Rayet, Respighi, Secchi, Tacchini, les professeurs et docteurs Gould, Young, etc., se sont particulièrement distingués dans cette nouvelle branche de la science.[284]

Par la suite, Huggins, Zöllner ou J. Herschel apporteront des modifications au dispositif de Janssen, notamment la méthode de la fente large qui permet d'observer en un coup d'œil la protubérance.

Après les enseignements théoriques et techniques de l'éclipse, Janssen transporte son matériel dans une station plus élevée, à Simla. Là, il fait une autre découverte: le Soleil est entouré, à la base des protubérances, d'une atmosphère hydrogénée, située au-dessus de la photosphère. Pour cela, il place la fente non plus normalement au disque solaire, mais tangentiellement et isole le champ spectral (donc diminue l'éclat du disque) par l'emploi de verres de teintes appropriées ou, mieux, d'une deuxième fente:

---

[283] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909, p.266.
[284] GUILLEMIN, Amédée, *Le Soleil*, Hachette, Paris, 1880, p.194.

La position tangentielle de la fente permet d'approcher du disque solaire autant qu'il est nécessaire, et d'y chercher jusqu'au contact même la présence de la matière protubérantielle, sans que l'énorme intensité de la lumière solaire écrase les phénomènes délicats qu'il s'agit de découvrir. [...] La définition du faisceau lumineux protubérantiel s'obtient, soit d'une manière approchée par les verres colorés, soit d'une manière absolue par l'emploi d'une seconde fente placée au foyer du spectroscope.[285]

En donnant un mouvement rotatif à son système, Janssen espère alors analyser toute la surface du Soleil, notamment la chromosphère, couche située au-dessus de la photosphère[286], découverte en 1842 par Baily et Arago (en même temps que les protubérances). Ainsi, en décembre 1868, Janssen peut affirmer, dans une dépêche télégraphique à l'intention de l'AdS que « les lignes de l'hydrogène sont visibles sur toute la circonférence du Soleil; les protubérances ne sont que des parties élevées de cette atmosphère hydrogénée ».[287] Janssen découvre donc que les protubérances se rattachent à une atmosphère constituée de la matière solaire, c'est-à-dire de l'hydrogène, et qu'elle entoure la photosphère.

C'est à partir de cette éclipse que Janssen devient, pour reprendre l'expression de Françoise Launay, un véritable « fou du Soleil »[288] : suite à cette découverte retentissante, Janssen se focalise sur l'étude spectrale du Soleil. Il est ainsi envoyé en 1870 par le Ministère de l'Instruction Publique, le BdL et l'AdS en Algérie pour l'observation de l'éclipse du 22 décembre 1870. Même si le temps n'a pas permis d'observation correcte, ce voyage de Janssen reste la plus connue peut-être des missions scientifiques qu'il ait entreprises. En effet, Janssen se trouve à Paris au mois de décembre 1870, et la capitale est assiégée par l'armée prussienne. Il décide alors d'employer un nouveau moyen de transport: « Je quittai Paris en ballon, le 2 décembre, à 6 heures du matin; je passai au-dessus de l'armée prussienne, traversai l'Ile-de-France, le Maine, la Bretagne et pris terre près de Savenay, ayant parcouru une distance d'environ cent lieues en cinq heures. »[289]. Le rapport que fait Janssen de son échappée de Paris est plus qu'épique, et l'enjeu évidemment plus politique que scientifique. On peut d'ailleurs noter qu'à cette époque, Janssen participe à l'érection et à la surveillance d'observatoires

---

[285] JANSSEN, Jules, « Sur la méthode qui permet de constater la matière protubérantielle sur tout le contour du disque solaire », *CRAS*, 1868, t.69, p.713.
[286] La photosphère est la partie qui délimite le Soleil, qui est observable et donne le spectre de Fraunhofer.
[287] *CRAS*, 1869, t.68, p.245.
[288] LAUNAY, Françoise, "Jules Janssen et la photographie", in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000,*Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.25.
[289] Notice sur les Travaux de M. J. Janssen, *Archives de l'Académie des Sciences*.

militaires, en commun avec le lieutenant-colonel Laussedat[290], et que suite à son atterrissage vers Savenay, Janssen rejoindra Nantes puis Tours où il est chargé d'une mission diplomatique verbale pour Gambetta. De plus, l'événement politique paraît être au cœur de sa démarche lorsqu'il déclare, poussé par la volonté de faire vibrer la fibre patriotique :

> Quelques jours avant l'éclipse, j'avais eu le plaisir d'apprendre l'arrivée de la principale Commission anglaise, qui avait aussi choisi Oran comme la station offrant le plus de chances favorables. Cette Commission se composait de MM. Huggins, Tyndall, amiral Ommanez, Crookes, R. Hortslett, Carpenter, Hemter, capitaine Noble, lieutenant Ommanez, lieutenant Collins. Ces messieurs m'apprirent qu'ils avaient formé auprès des autorités prussiennes la demande de ma sortie libre de Paris. Je les remerciai de cette démarche si honorable pour moi, et qui me touchait profondément, et je leur appris le mode tout nouveau de voyage qui m'avait permis de venir au rendez-vous scientifique sans y avoir recours.[291]

Ce voyage en ballon, le premier pour Janssen, sera l'occasion d'inventer le compas aéronautique, véritable boussole qui permet de fixer à chaque instant la position de l'aérostat. A partir de ce moment, Janssen entretiendra des liens très forts avec l'aérostation et ses représentants, à la fois pour faire de ce nouveau moyen de transport une technique française, mais également pour permettre des études scientifiques (et en particulier spectroscopiques) dans la lignée des Biot et Gay-Lussac. Depuis son échappée de Paris grâce au ballon le *Volta*, en 1870, Janssen pressent que les vols en ballon peuvent devenir un vecteur important pour ses recherches sur le spectre solaire. Par la mise au point d'un compas aéronautique lors de ce vol inaugural, il se fait une place privilégiée dans le milieu des aérostiers, à tel point qu'il deviendra président de la Société Française de Navigation Aérienne. Pour lui, s'élever dans les airs participe du même objectif que d'installer un observatoire en haute montagne: s'affranchir de notre atmosphère pour mieux connaître sa composition ainsi que celle du Soleil.
Janssen relatera tout particulièrement l'ascension, appelée "étoile polaire", réalisée par Crocé-Spinelli et Sivel le 22 mars 1874. L'objectif de Janssen est de décider si

> les raies ou bandes du spectre solaire, d'origine aqueuse, sont entièrement dues à notre atmosphère, ou si la lumière solaire, avant d'y pénétrer, en présente déjà les caractères. La question était fort importante, comme on le comprend, puisque, dans la dernière hypothèse, il faudrait admettre que dans les enveloppes solaires il existe des régions qui se sont déjà refroidies au point de permettre à la vapeur d'eau d'y exister sans

---

[290] Laussedat était aussi un savant féru de nouvelles technologies (photographie notamment). Professeur d'astronomie et de géodésie à l'Ecole Polytechnique depuis 1853, il deviendra directeur des études à l'Ecole en 1880 et directeur du CNAM en 1881.
[291] JANSSEN, Jules, « Lettre à M. le Secrétaire perpétuel, sur les résultats du voyage entrepris pour observer en Algérie, l'éclipse de Soleil du 22 décembre dernier », *CRAS*, 1871, t.72, p.221-222.

décomposition. Pour décider cette question, on peut employer plusieurs méthodes; mais les ascensions à grande hauteur fournissent un des moyens les plus sûrs. J'avais donc prié M. Crocé-Spinelli de se charger de cette question.[292]

Après avoir entraîné Crocé-Spinellli à l'observation spectrale et en particulier aux raies de la vapeur d'eau, l'ascension, à 7000 m, montre une totale disparition des raies concernées: Janssen montre donc qu'il n'y a pas d'eau dans le Soleil. Ce point est crucial d'un point de vue cosmogonique: si la vapeur d'eau existait, c'est que la température solaire serait déjà suffisamment basse pour donner naissance à des molécules comme l'eau. L'eau apparaît ici comme un indicateur du degré d'évolution auquel le Soleil est arrivé, et la remarque de Janssen comme un fait appuyant les idées cosmogoniques de Faye (voir chapitre 3.2).

Après l'éclipse de 1870, qui est un succès politique pour Janssen, mais sans véritable intérêt scientifique (le phénomène n'ayant pu être observé), celui-ci retourne en Inde, en 1871, pour observer, durant une nouvelle occultation du globe solaire par la Lune le 11 décembre, la couronne solaire (fig 1.4.2). Celle-ci, contrairement aux protubérances et à la chromosphère, a été remarquée dès l'Antiquité. La première étude spectrale en a été faite lors de l'éclipse du 7 août 1869 par Young, Harkness et Lockyer en Amérique du Nord. Ces derniers trouvent un spectre continu renfermant une raie brillante verte unique, appelée 1474 selon la division de l'échelle de Kirchhoff. Cette raie est vite attribuée à un élément inconnu, nommé coronium en 1882, tandis que sa longueur d'onde sera déterminée en 1898 par Campbell: 5303.33 Å[293]. Janssen ambitionne donc de préciser la nature de cette couronne : il quitte Marseille le 15 octobre 1871 sur le vapeur *Le Donaï* et arrive à Ceylan le 5 novembre. Il se rend alors à Colombo qu'il quitte le 15 novembre pour rejoindre la côte de l'Inde, atteint la côte de Malabar puis s'installe dans les montagnes des Neelgherries, à Shoolor, où les conditions météorologiques lui semblent favorables pour observer le phénomène.
Le principal objectif de Janssen est de collecter le plus de lumière: pour observer un spectre suffisamment lumineux de la couronne, il fait construire un télescope très ouvert. Son instrument possède ainsi un miroir de 38 cm pour un foyer de 1,42 m, « un miroir dont la distance focale est seulement quadruple de son diamètre donnera une image seize fois plus lumineuse que celle d'une lunette astronomique de même ouverture, et qui aurait un foyer

[292] JANSSEN, Jules., « Remarques sur le spectre de la vapeur d'eau, à l'occasion du vayage aérostatique de MM. Crocé-Spinelli et Sivel », *CRAS*, 1874, t.78, p.998.
[293] En 1942, Edlén reconnaîtra cette raie comme provenant du fer XIV, atome de fer treize fois ionisé.

quatre fois plus long »[294]. A l'aide de son instrument, Janssen peut constater que le spectre n'est pas continu: il y observe les raies de l'hydrogène et la raie verte (1474, qui n'est pas présente dans le spectre des protubérances). A mesure que l'on descend dans la couronne, les raies sont plus intenses. A des hauteurs moyennes, il observe la raie obscure D. Il peut ainsi conclure que:

- La couronne est due à une enveloppe gazeuse appartenant au Soleil.
- Cette enveloppe est lumineuse par elle-même, au moins dans les parties proches du Soleil.
- Elle possède une densité excessivement faible et une température plus basse que celle de la chromosphère.[295]
- L'hydrogène en est l'élément principal.

De plus, il réalise une analyse polariscopique de la lumière provenant de la couronne et trouve une polarisation radiale, ce qui indique la présence d'une lumière réfléchie (phénomène plus perceptible loin de la chromosphère). La lumière de la couronne présente donc une double origine: à la fois émissive et réflexive. En donnant une limite franche à la chromosphère, Janssen peut ainsi affirmer que cette couronne correspond à une enveloppe bien définie entourant le Soleil qu'il propose d'appeler *atmosphère coronale*.

Finalement, la poursuite des éclipses par Janssen montre pleinement son adhésion aux idées solaires, voire cosmogoniques, de Faye : la découverte par Janssen d'une atmosphère hydrogénée, très raréfiée, au lieu d'une atmosphère de vapeurs métalliques comme celle imaginée par Kirchhoff - déjà mise en défaut en 1867 lorsque Janssen n'observa aucune différence entre le spectre du bord et celui du centre du Soleil- l'amène à conclure que « l'atmosphère de M. Kirchhoff n'existait pas, et que l'origine des raies non telluriques du spectre solaire devait être reportée dans la photosphère même, faisant remarquer en même temps que cette explication découlait de la théorie de M.Faye, laquelle trouvait dans nos observations une éclatante confirmation »[296]. Les idées de Faye ne cesseront de transparaître dans l'œuvre de Janssen, notamment dans ses vues théoriques sur l'évolution des étoiles,

---

[294] JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques,* recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.1, p.266.
[295] On sait aujourd'hui que la couronne présente une température beaucoup plus élevée que la surface du Soleil. Alors que la photosphère est à une température de l'ordre de 5800 K, la couronne présente des températures de l'ordre du million de degrés, fait encore peu expliqué.
[296] JANSSEN, Jules, « Sur la constitution du Soleil », *CRAS*, 1871, t.73, p.434.

perçues en constant refroidissement, au point un jour de s'éteindre complètement. Pour Janssen, la portée philosophique de ses études est évidente : l'étude du Soleil lui permet ainsi d'affirmer l'unité matérielle du monde. Dans son discours sur « L'Age des Etoiles » lu à la séance publique annuelle des cinq Académies le 25 octobre 1887, il affirme ainsi :

> Les étoiles sont des soleils analogues au nôtre, et elles sont soumises aux lois d'une évolution, d'où résulte pour elles un commencement, une période d'activité, un déclin, une fin.
>
> Cette doctrine de l'évolution des astres n'est pas encore complète et étudiée dans toutes ses parties, mais elle s'impose aujourd'hui et elle doit être introduite dans la Science dont elle représentera un des plus importants progrès, une des plus belles conquêtes. […]
>
> Vous savez comment cette analyse s'étendit bientôt aux étoiles et jusqu'aux nébuleuses et comment la Science put alors, par un témoignage de sublime puissance, affirmer l'unité matérielle de l'Univers. L'unité matérielle de l'Univers, quelle conquête de la Science! quel voile tombant devant les philosophes, les savants, les penseurs, et leur montrant le monde offert à leurs travaux et à leurs méditations!

1.4.3 L'Astronomie Physique normalienne : à l'ombre de Le Verrier[297]

Suite à ses premières études de spectroscopie stellaire, Rayet prend part à l'expédition de l'observatoire de Paris destinée à observer en Indonésie l'éclipse totale de Soleil du 18 août 1868. Chargé de la spectroscopie des protubérances, Rayet obtient à cette occasion un inventaire très précis des raies spectrales protubérantielles : parmi tous les observateurs, c'est lui qui obtient le plus grand nombre de raies de ces appendices solaires, soit 9 raies, observées à l'aide d'un télescope de Foucault de 20 cm de diamètre, et d'un spectroscope à vision directe, fabriqué par le constructeur Duboscq, constitué de 3 prismes alternés :

Fig. 1.4.3. : Spectres des protubérances observées durant l'éclipse totale de Soleil du 18 août 1868.
Source : SCHELLEN, Heinrich, *Spectrum Analysis in its application to terrestrial substances,* Londres, Longmans,1872, p.348.

[297] Cette partie est largement tirée de notre article déjà cité : LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

À son retour, il termine ses recherches et soutient en 1871 une thèse de physique sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire[298]. Rayet, comme Wolf, privilégie dans ses dispositifs la luminosité à la dispersion. Contrairement aux anglo-saxons Huggins, Lockyer ou Young qui utilisent tous au minimum un train de six prismes, Rayet préfère un spectroscope doté de peu de prismes, donnant des spectres moins détaillés mais des raies plus lumineuses et donc, aisément repérables[299].

Fig. 1.4.4. : Spectroscope utilisé par Rayet pour l'étude du Soleil, après 1868, à l'OP (vue générale, détails de la fente et de la disposition des prismes.
Source : RAYET, Georges, « Mémoire sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire et sur la constitution physique du soleil », *Thèse présentée à la Faculté des sciences de Paris*, Paris, Gauthier-Villars, 1871, p.34-37.

D'un point de vue théorique, Rayet confirme la théorie de Faye sur les différentes couches qui constituent le Soleil tout en démontrant la nécessité de repenser l'explication en ce qui concerne les taches solaires. Par ailleurs, il adhère aux idées de Johnstone Stoney[300] quant à la répartition des corps dans l'atmosphère solaire selon laquelle ces derniers sont rangés suivant leur poids atomique : les plus lourds dans les couches inférieures, les plus légers vers l'extérieur.

Contrairement à Janssen, le normalien Rayet ne s'implique pas dans autant de réseaux de sociabilité. Il concentre ses relations avec le milieu académique essentiellement normalien puis universitaire une fois en poste à Bordeaux.

À l'observatoire de Paris, pendant la première partie de sa carrière, Rayet s'appuie sur le réseau des astronomes anciens de l'Ecole normale, tous animés d'un vif désir d'innovation, afin de se faire le porte parole d'une génération en mal d'un renouveau astronomique. Les recherches innovantes de Georges Rayet en spectroscopie céleste souffrent en effet d'un manque de considération de la part des différents directeurs de l'OP. Par exemple, en 1868,

---

[298] RAYET, Georges, « Mémoire sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire et sur la constitution physique du soleil », *Thèse présentée à la Faculté des sciences de Paris*, Paris, Gauthier-Villars, 1871.

[299] A ce propos, Rayet critique fortement Lockyer p. 31 de sa thèse : « Enfin, n'est-ce pas faire un abus de prismes que d'employer sept prismes, plus un prisme à vision directe formé de cinq prismes alternes ? est-il possible que ces vingt quatre surfaces soient assez mathématiquement planes pour n'introduire dans la vision du spectre aucun trouble ? Je ne le crois vraiment pas. C'est du reste l'opinion du R. P. Secchi, que nombre des particularités vues par M. Lockyer seul peuvent être des erreurs d'observation. »

[300] STONEY, Johnstone, « On the Solar Eclipse of August 1868 », *MNRAS*, vol. 28, 1867, p.18.

Le Verrier s'oppose catégoriquement au départ de son subordonné en mission d'observation pour l'éclipse solaire. Selon lui, Rayet n'est pas apte à mener des travaux astronomiques et doit se concentrer sur la météorologie, ce pour quoi il a été recruté. Ce n'est qu'après une plainte au Ministre de l'Instruction publique que Rayet obtient finalement l'autorisation de partir en expédition[301]. La décision tardive de Le Verrier d'envoyer une mission scientifique pour l'observation de cette éclipse a pu être motivée par l'insistance du Ministre de l'Instruction Publique, Victor Duruy, et aussi par la concurrence suscitée par Janssen, organisateur d'une mission préparée plus tôt que celle de l'OP. Ce dernier refusera d'ailleurs de participer à la mission de l'OP soulignant « qu'il paie sa dette sous une autre forme »[302], état de fait lui permettant ainsi de se démarquer de l'OP et de l'astronomie officielle.

Pendant « l'interrègne » de Charles Delaunay à la direction de l'observatoire de Paris entre 1870 et 1872, la situation n'est pas plus favorable à l'astronomie physique. Dans un article sur la Société italienne de spectroscopie qui vient d'être créée en Italie, Georges Rayet précise qu'il avait commencé un travail sur le spectre des taches solaires similaire à celui de Donati, directeur de l'observatoire de Florence, mais que Delaunay l'a empêché de le poursuivre : « J'avais en 1870 commencé ce travail ; mais monsieur le directeur de l'observatoire, en me refusant les instruments nécessaires, m'a depuis forcé de l'interrompre »[303]. Pour les autres astronomes, les frustrations et les frictions avec la direction sont similaires et quotidiennes[304]. Si bien, qu'à la mort de Delaunay, le jeune personnel de l'observatoire de Paris déverse ses plaintes dans la presse. Portés par la vague de renouveau scientifique après la guerre de 1870, forts de l'influence croissante des normaliens dans les sphères de l'enseignement supérieur et du pouvoir, les astronomes normaliens savent que leur voix peut être entendue. Dans la *Revue*

---

[301] Voir MAISON, Laetitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, Université de Bordeaux 1, 2004. Pour une description des travaux effectués lors de cette éclipse par la mission comprenant outre Rayet, les normaliens Stephan et Tisserand, voir aussi : STEPHAN, Edouard, « Voyage de la commission française envoyée par le Ministre de l'Instruction Publique sur la côte orientale de la presqu'île de Malacca, pour y observer l'éclipse totale du 18 août 1868 », *Annales Scientifiques de l'ENS*, série 1, 7, 1870, p.99-162 ; GEORGELIN, Yvon, ARZANO, Simone, « L'éclipse de Soleil du 18 août 1868. Stephan, Rayet, hôtes du roi de Siam à Wha-Tonne », *L'Astronomie*, vol.113, janvier-février 1999, p.12-17 ; GEORGELIN, Yvon, « Edouard Stephan, une éclipse de soleil au Siam et un quintet de galaxies », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.47-68.

[302] Cité in GEORGELIN, Yvon, ARZANO, Simone, « L'éclipse de Soleil du 18 août 1868. Stephan, Rayet, hôtes du roi de Siam à Wha-Tonne », *L'Astronomie*, vol.113, janvier-février 1999, p.12-13.

[303] RAYET, Georges, « Société italienne de spectroscopie », *Revue Scientifique de la France et de l'Etranger*, n°8, 24 août 1872, p.118. Cité in MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.55.

[304] Les travaux de Charles André sont également méprisés par Le Verrier ; André est obligé en 1876 d'achever sa thèse dans le laboratoire de Sainte-Claire Deville à l'ENS. Sur ce dernier, voir Catherine Paquot, « Le chimiste Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881) », Thèse de Doctorat, (EHESS, 1984).

scientifique de la France et de l'étranger, une tribune républicaine, ils prônent un renouvellement complet des pratiques astronomiques en demandant notamment une place de choix pour l'astronomie physique[305].

Dans ce contexte, Rayet engage avec Charles André et Alfred Angot la publication de plusieurs ouvrages sur l'astronomie pratique en Europe et en Amérique dans lesquels une large place est donnée à la description des innovations instrumentales mises en œuvre dans les observatoires étrangers[306]. Le but est de montrer l'avancée technique et théorique des pays étrangers en astronomie afin de s'en inspirer pour rénover l'astronomie française.

Sous l'impulsion d'Adolphe Thiers, une nouvelle commission astronomique est instituée le 25 novembre 1872, destinée à penser l'avenir de l'astronomie française. Cette commission est constituée de Gaillot, Loewy (BdL), Rayet, Wolf et Yvon Villarceau (membre de l'Institut) pour l'OP, Lespiault professeur à la faculté des sciences de Bordeaux, Roche professeur à la faculté des sciences de Montpellier, Stephan directeur de l'observatoire de Marseille, Le Verrier (BdL), Belgrand, Faye (BdL), Fizeau, Puiseux et Charles Sainte-Claire Deville, membres de l'Institut, et Janssen, astronome. Le 13 février 1873, deux décrets sont publiés, l'un séparant l'OP et l'observatoire météorologique de Montsouris (même si l'OP conservait l'étude des mouvements de l'atmosphère et les avertissements météorologiques aux ports et à l'agriculture), l'autre instituant la tenue d'une assemblée générale, sous le contrôle du Ministre de l'Instruction Publique, visant la fondation d'observatoires de province et le rétablissement d'un conseil aux côtés du directeur de l'OP.

Au retour de Le Verrier à la direction de l'OP le 19 février 1873, la direction affiche délibérément sa volonté de tenir compte des précédentes revendications. Un nouveau texte de loi régissant la recherche astronomique en France est émis. L'ensemble de la communauté astronomique s'accorde alors sur un texte prônant décentralisation et coordination. Dans un des premiers rapports[307] du nouveau Conseil élargi de l'observatoire de Paris, Le Verrier et

---

[305] Voir LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, *op.cit.*, p.68 : « A quoi sert le Bureau des Longitudes ? », *Revue Scientifique de la France et de l'Etranger*, t.21, 1872, p.481-483 ; « Réorganisation de l'Observatoire national de Paris, *Revue Scientifique de la France et de l'Etranger*, t.10, 1872, p.217-220.

[306] ANDRE, Charles, RAYET, Georges, ANGOT, Alfred, *L'Astronomie pratique et les observatoires en Europe et en Amérique depuis le milieu du XVII^e siècle jusqu'à nos jours*, 5 vols., Paris, Gauthier-Villars, 1874-1881. Cet ouvrage a fait l'objet d'une complète numérisation réalisée sous l'impulsion de Laetitia Maison dans le cadre de l'ACI « Savoirs et techniques de l'observatoire », en partenariat avec l'observatoire de Paris. Il est consultable à l'adresse suivante : http://www.hstl.crhst..cnrs.fr/research/aci/nadirane/ice. Sur l'analyse de l'enquête en Italie, voir : MAISON, Laetitia, « Les observatoires italiens en 1875 : un exemple pour le renouveau de l'astronomie française ? », *Nuncius*, vol.18, 2003, p.577-602.

[307] « Conseil général institué par décret du 13 février 1873, Procès verbal du 22 avril 1874 : Rapport imprimé du Directeur de l'OP sur les services généraux de l'établissement. Travaux projetés et en voie d'organisation à l'observatoire de Paris pour la reprise des études astronomiques, Exposé fait au Ministre de l'Instruction publique par U.-J. Le Verrier, Directeur de l'observatoire », AN F17 3752.

Charles Wolf donnent alors toute sa place à l'astronomie physique. Le Verrier distingue tout d'abord les deux types de recherches devant être réalisées dans un observatoire :

> 1° Les recherches de Physique céleste, comprenant l'examen de la nature du Soleil, de la Lune, des planètes et de leurs satellites et l'étude du mouvement de ces corps ; la découverte de mondes encore inconnus et celle des comètes ; les mouvements et la nature des étoiles ; les nébuleuses et plus généralement l'Astronomie sidérale, mine féconde et inépuisable de découvertes remarquables par leur variété et leur splendeur.
>
> 2° Les recherches de Physique terrestre, embrassant l'étude de la figure de la Terre et des lois de la pesanteur ; les applications de l'Astronomie aux besoins de la société ; l'étude du magnétisme terrestre, des propriétés de la lumière et des phénomènes météorologiques tant réguliers qu'accidentels.[308]

Puis, Wolf, en tant que chef de service des équatoriaux et de la physique céleste, s'exprime ainsi sur les « recherches extra-méridiennes » :

> Un observatoire qui consacrerait tous ses efforts à l'Astronomie physique seule pourrait occuper un nombreux personnel. A l'étranger, beaucoup d'établissements suivent cette voie et il est à désirer que la France en puisse créer de semblables à son tour […]. Nous ne pouvons nous refuser à comprendre une semblable Division parmi les observatoires dont se compose celui de Paris. Réunie à celle qui doit faire le travail fondamental des cartes et catalogues célestes, elle a besoin d'un nombreux personnel, varié dans ses aptitudes et ses fonctions, capable d'appliquer aux recherches astronomiques toutes les ressources de la Physique, de l'optique et de la Chimie.[309]

En fait, les recherches d'astronomie physique restent simplement tolérées à l'observatoire de Paris. Rien de ce qui est exposé au ministre en matière d'astronomie physique n'est mis en œuvre. Au contraire, alors que le pouvoir politique se durcit sous l'impulsion du duc de Broglie, instigateur d'un nouvel « ordre moral », Le Verrier renoue avec une direction despotique. Toute recherche menée à l'observatoire doit être avalisée par le directeur et est minutieusement surveillée. Le Verrier émet en effet un « Règlement concernant les fonctionnaires de l'observatoire de Paris » qui oblige chaque employé, en plus du rapport remis chaque mois par les chefs de service, à transmettre un rapport hebdomadaire au directeur. L'article 4 stipule que nul fonctionnaire ne peut s'absenter sans que son service ait été auparavant confié à un remplaçant. Dans ce cadre, le projet de Wolf, Rayet et André de partir ensemble au Japon pour observer le passage de Vénus devant le soleil en 1874, Rayet se chargeant des études spectroscopiques, devient impossible. Le Verrier s'oppose au départ de

---

[308] *Ibid.*
[309] *Ibid.*

ses deux chefs de service (Wolf, pour la physique céleste ; Rayet, pour le service météorologique) malgré leurs compétences[310]. L'astronomie physique n'est donc toujours pas la priorité à l'observatoire de Paris, surtout si elle est pratiquée par un Républicain affiché. Le Verrier, légitimiste[311], use de ce prétexte politique pour renvoyer Rayet. Par la suite, l'astronomie physique à l'observatoire de Paris se réduira, entre 1875 et 1890, à seulement quelques recherches de Wolf sur la constitution physique des comètes.[312]

En conclusion, l'AP en France au début des années 1870, avant le moment décisif que constituera le passage de Vénus (voir chapitre 2.1), n'a pu rencontrer de réelles possibilités d'émergence que hors de l'institution phare de l'astronomie française, à savoir l'OP. La situation particulière de cette institution à partir de l'arrivée de Le Verrier au pouvoir, a conduit, dans le champ de l'astronomie, à l'introduction importante de normaliens, élite intellectuelle de la nation qui se revendiquera républicaine, mais dont la dépendance vis-à-vis du pouvoir politique sera forte et souvent handicapante. Les possibilités offertes par le développement du laboratoire de Sainte-Claire Deville à l'ENS n'auront pas donné tous leurs fruits, même si l'influence du travail du chimiste sera perceptible dans les idées de Faye. Ce dernier va, de son côté, imposer ses vues techniques et théoriques en dirigeant vers la voie de la maturité les vues d'Arago et Humboldt concernant la photographie, la télégraphie puis en

---

[310] En effet, depuis 1868, Rayet est un spectroscopiste reconnu ayant obtenu au retour de la mission la croix de la légion d'honneur pour la qualité de ses travaux. L'expédition de l'observatoire de Paris pour le passage de Vénus sera finalement constitué de Charles André et d'Alfred Angot.

[311] Le mouvement légitimiste était alors, aux débuts de la Troisième République, un mouvement monarchiste. Les monarchistes étaient alors séparés en légitimistes et orléanistes.

[312] Dans sa thèse, Laetitia Maison a analysé pourquoi Rayet ne développera pas, par la suite, de recherches importantes d'AP. Nommé en 1877 professeur d'AP à la faculté des sciences de Bordeaux puis directeur de l'observatoire en 1879, Rayet sera bloqué par l'éloignement vis-à-vis de Paris, qui l'a empêché d'être proche des constructeurs : ses orientations techniques concernant la spectroscopie resteront axées sur une recherche de luminosité quand le choix de la précision au détriment de la luminosité était fait ailleurs. De plus, la décentralisation effectuée à cette époque, et ayant abouti à la création de plusieurs observatoires de province (dont on trouve de nombreux normaliens à leur tête : Stephan à l'observatoire de Marseille, Benjamin Baillaud à Toulouse ; Charles André a Lyon et Charles Gruey à Besançon), aura comme conséquence un isolement de ces savants en quête d'innovation. Ces observatoires resteront malgré tout aux mains des élites parisiennes qui leur imposeront une obligation de rendement : les observatoires de province seront moins considérés comme des institutions modelées sur l'observatoire de Paris que comme de simples laboratoires annexes des facultés, propres à produire des coordonnées célestes. Sur les observatoires de province en France, voir entre autres : MAISON, Laetitia, *op.cit.* ; LAMY, Jérôme, *Archéologie d'un espace savant. L'observatoire de Toulouse aux 18ème et 19ème siècle : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, EHESS, 2004 ; Françoise Le Guet Tully prépare également une thèse sur l'observatoire de Nice au Centre François Viète de Nantes.

participant au développement de la spectroscopie astronomique : la nature profonde et interne des phénomènes physiques peut nous être révélée, le Soleil en tête, par une conjonction des connaissances acquises dans tous les domaines, et par la nécessité de capter les manifestations de la nature (éclipses, passages planétaires) lors de voyages scientifiques, indispensables auxiliaires d'expériences de laboratoire. Si nous développons plus loin ces aspects de la pensée et de l'œuvre de Faye (chapitres 2.1 et 3.2), il nous apparaît qu'une étude approfondie et spécifique de la place de Faye dans le champ de l'astronomie, de la physique, et de la science française en général sera plus tard indispensable, de façon à préciser l'articulation des différentes facettes de ses activités scientifiques, techniques, institutionnelles et politiques. Janssen sera l'un de ses émules : ses travaux n'ont été possibles que par le support, scientifique, institutionnel et donc financier, de Faye, via le BdL ou l'AdS. C'est en utilisant de façon ciblée le système français, grâce à des fonds publics, plus qu'en le court-circuitant, que Janssen arrivera à mener ses projets, et notamment le premier d'entre eux : se doter d'un lieu spécifique pour développer ses recherches en AP.

Conclusion de la partie 1

Entre 1860 et 1874, la « nouvelle astronomie », selon l'expression utilisée par S.P. Langley[313], est le lieu de travaux divers et nombreux. Ces travaux s'enracinent dans une tradition française de la physique, celle de la physique ondulatoire de Fresnel qui présuppose l'habileté technique, l'innovation expérimentale.

Durant cette période émerge une figure marquante : Hervé Faye. Celui-ci est un lien entre les physiciens de la première moitié du siècle, et ceux de la deuxième moitié : il va transmettre, en les transformant, les problématiques concernant l'astronomie et la physique. Il en va ainsi du Soleil, objet céleste dont Faye va proposer un modèle, un mécanisme qui va occuper les astronomes et physiciens français. De même, si Faye n'a pas lui-même innové sur le plan technique, il a proposé des dispositions matérielles originales et en rupture avec les habitudes précédentes, et avec la statut de l'observateur jusqu'alors dévolu à l'astronome : nous approfondirons ce point dans la partie suivante. Membre d'institutions importantes comme l'AdS, l'OP ou le BdL, Faye est une figure qui méritera beaucoup plus d'attention à l'avenir.

Parmi les savants qui vont marcher sur les traces de Faye se trouve Jules Janssen. Son style, sa méthode, est à rapprocher de celui de Léon Foucault, comme l'indique d'ailleurs le député Dampierre lorsque Janssen sera pressenti pour remplacer Laugier comme examinateur de sortie à l'Ecole Navale en 1872 : « M. Janssen est un homme de génie dans le genre de M. Foucault […] »[314] : approche technique, absence de théorisation et de mathématisation des appareils et des phénomènes. Il se démarque nettement des pratiques de l'astronomie traditionnelle en alliant une pratique de laboratoire (notamment de chimie) et une pratique de l'observation, mais aussi en adoptant des dispositions techniques peu prisées des astronomes. C'est le cas pour le télescope, ou réflecteur, qu'il utilise dès 1871 lors de l'observation d'une éclipse de Soleil. John Lankford qualifie ainsi Janssen de « pionnier », car la mise au point de

---

[313] L'expression que Langley utilise en 1883 pour qualifier l'AP en 1883 est reprise par A.J. Meadows : MEADOWS, A. J., « The new astronomy », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.59-72.

[314] Cité in VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

son télescope de 38 cm de foyer et 1,42 m de focale va préfigurer le télescope de 1 m de diamètre et 3 m de focale qui équipera l'observatoire de Meudon dans les années 1890. L'utilisation de télescopes est marginale à cette époque dans le milieu des astronomes professionnels car leur manipulation est difficile et l'ajustement optique délicat. Lankford note alors que ce n'est qu'en 1908 que l'américain Ritchey fera évoluer l'opinion des astronomes sur les réflecteurs, lorsqu'il montrera les possibilités de son télescope de 1,52 m de diamètre installé au Mont Wilson.

Janssen apparaît alors comme une véritable « éponge » technique, en lien avec des théoriciens comme Faye ou Babinet, des constructeurs (Hoffmann, Duboscq, …), des astronomes, des physiciens, des chimistes. Aucune césure disciplinaire n'existe dans l'approche de Janssen et témoigne en cela d'une pratique humboldtienne que nous développerons par la suite.

A l'OP, des possibilités se sont offertes, notamment via les normaliens recrutés par Le Verrier, et formés à la chimie au laboratoire d'Henri Sainte-Claire Deville. Laetitia Maison a montré comment la subordination de ce personnel aux décisions émanant du directeur de l'OP, et plus tard la subordination des observatoires de province aux responsables parisiens, a pu entraver des projets de spectroscopie céleste. Malgré la volonté et la formation adéquate de ces savants en chimie, l'OP ne pourra se faire le récipiendaire de l'AP en France. L'éclipse de 1868 a bien mis en relief l'écart entre Janssen et les normaliens de l'OP : l'AP ne pourra être cultivée qu'en dehors de l'institution déjà en place et dévolue à l'astronomie de position, à savoir l'OP. De plus, l'extrême centralisation du système français n'a pas permis un déplacement vers les observatoires de province des recherches d'AP. Enfin, et certainement le plus important, les normaliens montrent à cette époque une culture, un style, de l'observation, et non une attitude originale face aux nouvelles idées : Rayet à Bordeaux, par exemple, cherchera à appliquer les méthodes de l'astronomie d'observation à l'AP (mesure de la position des raies spectrales calquées sur la mesure de la position des étoiles dans le ciel, mais sans problématisation).

Pour cela, la situation n'est pas différente de celle observée à l'étranger : l'AP est avant tout solaire, pratiquée par des professionnels en marge de l'institution dominante et donc libres d'innover. On peut donc dire, par exemple, que Janssen est un 'risk-taker', pour reprendre

l'expression proposée par Lankford[315] . Pourtant, on a souvent observé, ailleurs, une collaboration entre physiciens et chimistes : Lockyer et le chimiste Frankland, Huggins et le chimiste Miller, … En France, une collaboration suivie entre physiciens et chimistes n'a pas été observée : on peut prolonger l'idée avancée par Dörries, à savoir le flou disciplinaire observée en dépit d'une fragmentation affichée des connaissances. Les carnets de Janssen nous ont effectivement montré qu'ils possèdent chez lui du matériel de chimie et de physique qu'il utilise selon ses besoins. L'ENS, la Sorbonne ou les ateliers des constructeurs lui offrent des perspectives techniques, mais il travaille malgré tout seul, rassemblant lui-même les compétences en chimie, en physique ou en astronomie.

Ainsi, le futur observatoire de Meudon va rassembler ces spécificités. Nous allons donc voir, dans une deuxième partie, comment cette science en gestation va décliner les problématiques déjà présentes. Le passage de Vénus va de plus permettre l'irruption d'un nouveau groupe dont la cohérence tient dans une vision particulière de la physique. Ce groupe, souvent constitué de polytechniciens, va investir de plus en plus le domaine émergent que constitue l'AP, situation tranchant avec la présence de normaliens constatée durant la première période.

[315] LANKFORD, John, « Amateurs and astrophysics : A Neglected Aspect in the Development of a Scientific Specialty», *Social Studies of Science*, 11, 1981, p.277.

Partie 2

De l’image à la mesure, et vice-versa

(1874-1895)

2.1 Le Passage de Vénus : « L'Instant Rêvé »

Le passage de Vénus en 1874 a-t-il été un moment fort dans l'émergence de l'astronomie physique française ? La question mérite d'être posée lorsque, la même année, le député Louis Cézanne expose à l'Assemblée Nationale la nécessité pour la France de se doter d'un observatoire d'astronomie physique, et ainsi de rester parmi les grandes nations scientifiques. De seules raisons politiques expliquent-elles la création effective de cet observatoire en 1876, et la nomination au poste de directeur du physicien et astronome Jules Janssen (1824-1907) ? L'étude des débats animant la commission scientifique chargée d'étudier les conditions techniques et matérielles de l'observation du passage de Vénus permet de situer la nature des enjeux scientifiques et leur portée vis à vis de l'émergence d'une nouvelle astronomie. En effet, la question de l'enregistrement photographique pointe les rapports qu'ont entretenus les différents savants impliqués avec les nouvelles techniques récemment apparues : la spectroscopie, mais surtout la photographie. Si la commission adopte pour les six stations françaises la méthode photographique d'Alfred Cornu (1841-1902), la réelle innovation est due à Jules Janssen par l'intermédiaire de son revolver photographique. En étudiant particulièrement ces deux savants et les méthodes qui les caractérisent, il apparaît que les travaux de Janssen et de Cornu sont d'un côté le fruit d'héritages fort différents, et d'autre part que leurs parcours, juste après le passage de Vénus, vont définir de façon profonde les caractéristiques de la future astrophysique française.

Dès le début des années 1860, Faye, nous l'avons vu, permet à Janssen de mener à bien ses travaux spectroscopiques et leur application à l'astronomie. Au même moment, Fizeau permet à Cornu de devenir professeur de physique à Polytechnique, lui donnant à cette occasion une position institutionnelle privilégiée. Ainsi, les rapports qu'entretiennent Faye et Fizeau vis à vis de la photographie vont s'incarner dans les choix techniques effectués par Janssen et Cornu. Ce sont alors deux cultures qui vont se rencontrer lors des discussions au sein de la commission du passage de Vénus. Il paraît donc essentiel de préciser dans un premier temps la nature de ces deux cultures, depuis Faye et Fizeau et jusqu'à leur expression chez Janssen et Cornu. D'autre part, il convient de montrer en quoi ces deux cultures ont façonné l'astronomie française à la fin du XIX^{e} siècle, si elles ont réussi à collaborer ou au contraire

sont entrées en concurrence, et de quelle manière l'observatoire de Meudon est devenu le lieu d'une synthèse aux caractéristiques propres.

2.1.1 Un promoteur précoce de la photographie scientifique : Hervé Faye

C'est Hervé Faye qui fut, en France, un promoteur précoce de la photographie et de son application à l'astronomie. Dès 1849, il projette de recourir à la photographie, car, dit-il, « j'ai pensé qu'il y avait lieu de recourir à des procédés nouveaux où les sources d'erreurs actuellement reconnues fussent évitées, et surtout de supprimer l'œil infidèle de l'observateur »[316]. A l'aide d'un objectif achromatique de 10 m de focale, il espère obtenir des images du soleil de 9 centimètres de diamètre. La photographie, ainsi que la télégraphie électrique, sont à cette époque des moyens pressentis de suppression de l'observateur et de détermination absolue du temps.

En 1858, il informe l'Académie des Sciences sur les idées qui se développent en Angleterre concernant le passage de Vénus et son application à la détermination de la distance Terre-Soleil[317]. Il y propose déjà l'utilisation de la photographie pour l'enregistrement des phénomènes astronomiques tels que passage planétaires ou éclipses centrales. La disposition optique qu'il préconise consiste en une lunette parallactique mû par un mouvement d'horlogerie, pour laquelle l'œil est remplacé devant l'oculaire par une bande de papier sensible déroulant à une vitesse de 1dm/s. C'est par un travail mené avec des constructeurs comme Porro, Quinet, Digney, qu'il propose l'utilisation du collodion sec sur un appareil photographique de 15m de focale et 0,52m de diamètre. Non seulement le recours à la photographie permet de supprimer l'observateur et éviter les erreurs physiologiques propres à l'observation[318], mais il permet également d'enregistrer ces observations, donnant la possibilité de relectures des images, et l'enregistrement quotidien des astres, le soleil en premier lieu.

Faye est ainsi convaincu de l'objectivité sans faille de l'image photographique : il est persuadé qu'avec l'utilisation de cette nouvelle technique, » vous avez substitué la réalité aux

---

[316] FAYE, H., « Sur les observations du Soleil », *CRAS*, t.28, 1849, p.242.

[317] FAYE, H., « Sur la parallaxe du soleil et sur les éclipses centrales de l'année courant », *CRAS*,1858, t.46, p.165

[318] « Ici le système nerveux de l'astronome n'est plus en jeu ; c'est le soleil qui imprime lui-même son passage. », FAYE, H., « Sur les photographies de l'éclipse du 15 mars présentées par MM.Porro et Quinet », *CRAS*, 1858, t.46, p.708.

apparences qu'on observe aujourd'hui »[319]. L'image obtenue est d'une véracité telle que « la rétine humaine est remplacée par une plaque sensible ». Il préfigure la fameuse expression de Janssen, avec presque vingt ans d'avance : « la plaque photographique sera bientôt la véritable rétine du savant »[320]. Faye est donc dans les années 1850 l'un des rares astronomes à appliquer les idées d'Arago : pour Faye, la photographie et la télégraphie électrique doivent façonner une nouvelle façon de pratiquer l'astronomie. Il connaît cependant les difficultés accompagnant ses projets : « Malgré la lenteur habituelle avec laquelle les anciennes méthodes, longtemps employées, font place aux méthodes nouvelles, j'espère que les astronomes ne tarderont pas à faire un usage fréquent de celle-ci […] ».

Voit-il en l'Angleterre un pays capable de lui apporter des solutions techniques ou théoriques ? Lui qui deviendra membre de la Royal Astronomical Society s'introduit dans les milieux scientifiques anglais, notamment en travaillant avec Dunkin sur la détermination de la différence de longitude entre Greenwich et Paris grâce à la télégraphie électrique. Dès 1858, il se préoccupe des diverses méthodes permettant la détermination de la parallaxe du soleil, suivant de près la lecture faite par Airy devant la Société Astronomique de Londres[321]. Trois ans plus tard, il redémontre son intérêt pour le sujet et son attachement au discours anglais sur le sujet : « Il y a quatre ans, l'astronome royal d'Angleterre, M. Airy, rappelait à la Royal Astronomical Society (dans sa séance du 8 mai 1857) que le moment était venu de reprendre un grand problème dont le siècle dernier s'est vivement occupé, la mesure de la distance du soleil à la Terre. »[322] Cependant, pour Faye l'observation photographique incarne un moyen d'acquérir de la précision par la mesure, à la différence des anglais, qui y voient un instrument plus descriptif, porté vers l'observation. L'attitude anglaise est donc bien représentée par l'idée de Janssen : la plaque photographique est considérée comme un moyen fiable de remplacer l'œil et ses imperfections, apportant en cela une véracité observationnelle sans faille.

Faye connaît également l'importance des constructeurs dans l'introduction de nouvelles techniques dans le champ de l'astronomie. Il illustre en cela une tradition des physiciens opticiens français, héritée de Fresnel et Arago. Il cite cette nécessité de faire appel à des constructeurs expérimentés dans une lettre à l'abbé Moigno :

---

[319] *Ibid*., p. 709.
[320] JANSSEN, Jules, « Les méthodes en astronomie physique », *Comptes rendus de l'AFAS*, 1882, p.22.
[321] FAYE, H., « Sur la parallaxe du soleil et sur les éclipses centrales de l'année courant », *CRAS*,1858, t.46, p.165
[322] FAYE, H., « Sur la mesure de la distance du Soleil à la Terre », *CRAS*, 1861, t. 53, p. 525.

> Je ne suis pas assez riche pour rémunérer dignement [des] efforts que tout le monde sait. D'ailleurs, des ingénieurs et des artistes tels que les Gambey et les Cauchoix, les Lerebours, les Secrétan, les Brunner, les Porro, etc. jouent dans la science un rôle trop considérable pour qu'on leur marchande la part de gloire qui leur revient dans tous nos progrès. [323]

Pourtant, on peut difficilement assimiler son comportement technique à celui de Janssen, Cornu ou Deslandres à la fin du siècle : s'il promeut la photographie, la spectroscopie ou la télégraphie, il ne laisse finalement aucune innovation marquante. Toutefois, le rôle joué par Faye dans l'émergence de techniques qui façonneront l'astronomie physique dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle est indéniable. S'il imagine très tôt un appareil qui préfigure le revolver photographique (photographie d'une partie du soleil, enregistrement de plusieurs images sur une même plaque-20 photographies espacées d'1 seconde-, enregistrement du temps, utilisation de 4 plaques pour un passage complet), il intègre également la disposition proposée par Laussedat en 1860, à savoir l'utilisation du sidérostat permettant de maintenir la lunette et l'appareil photographique fixes de façon à éviter les trépidations[324]. De plus, son adhésion à l'utilisation de la spectroscopie dans le domaine de l'astronomie et son plaidoyer pour les observations astronomiques d'altitude en font un personnage important de l'astronomie physique française, en qui Janssen va trouver support et influence.

2.1.2 La quête de l'image de Jules Janssen

Nous avons déjà vu la collaboration entre Janssen et Faye dans le domaine de la spectroscopie solaire. Celle-ci va donc se poursuivre en ce qui concerne le passage de Vénus et l'utilisation de la photographie. Très influencé par Faye, Janssen bénéficie également de nombreuses relations en Angleterre, et il trouve lors de ses voyages et de ses participations aux Congrès de la British Association for the Advancement of Science, BAAS, des sources de réflexion :

> […] ces congrès me sont si profitables à tant de point de vue qu'il est absolument nécessaire que je m'y trouve et que j'y reste jusqu'à la fin. Spécialement avec mon expédition en vue, je trouve ici toutes sortes de

[323] Lettre à l'Abbé Moigno, *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Faye
[324] FAYE, H., « Sur l'observation photographique des passages de Vénus et sur un appareil de M. Laussedat », *CRAS*, 1870, t.70, p. 541-548.

renseignements sur la Chine, la Birmanie, le Cap. Sur les travaux en astronomie, en géographie et dont je fais le plus grand profit. [325]

Lors de ces Congrès, il prend le temps de voir des constructeurs, d'échanger avec des savants anglais, parmi lesquels Warren de la Rue : il peut alors mettre au point son revolver photographique et faire des essais sur les instruments anglais. Il écrit par exemple à sa femme :

> […] Il faut absolument que je reste à Londres quelques jours pour l'appareil photographique. »[326] . Ou encore : « […] Aujourd'hui je reviens de Greenwhich où j'ai arrêté en détail tous les préparatifs pour le passage de Vénus. J'ai obtenu une photographie faite les photohéliographes qui doivent servir. J'ai donné à Sir G. Airy et De la Rue tous les détails pour la construction de mon appareil photographique et son adaptation à leurs instrumens. Ils ont déjà fait des essais préliminaires qui ont réussi.[327].

C'est ainsi que la mission française du Japon dirigée par Janssen en 1874 sera la seule à être équipée du revolver[328] tandis que la majeure partie des missions anglaises en seront munies. L'abbé Moigno le déplorera dans son journal :

> J'ajoute enfin la description de l'excellent appareil auquel l'Angleterre a donné le nom de Janssen, tel qu'il a été modifié par M. Warren de la Rue. Anomalie douloureuse ! toutes les expéditions anglaises emportent avec elles l'adimrable outil que notre compatriote a créé, et une seule expédition française, celle de M. Janssen, qu'on n'a pas réussi à séparer de son enfant, en sera munie.[329]

Par le biais de Warren de la Rue notamment, les Anglais se sont donc appropriés l'invention de Janssen. Mais lui-même a su tirer beaucoup de profit de ses séjours en Angleterre, à une époque qui précède la fondation d'un Observatoire d'astronomie physique : «J'ai aussi la liste exacte de leurs stations et de leurs appareils. Les adresses des meilleurs constructeurs anglais pour les instrumens dont nous pourrions avoir besoin. Enfin, j'ai des documens extrêmement intéressants pour la commission de Vénus. » [330]

---

[325] *Lettre de Janssen à sa femme, Bradford 22 septembre 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°176.
[326] *Lettre de Janssen à sa femme, Londres 2 octobre 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°179.
[327] *Lettre de Janssen à sa femme, Londres 6 octobre 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°180.
[328] Voir à ce sujet DUMAS, J.-B., « Rapport sur l'état préparatif pour les expéditions chargées par l'Académie d'aller observer le passage de Vénus sur le Soleil, le 9 décembre 1874 », *CRAS*, 1874, t.78, p.1803.
[329] MOIGNO, François, *Les Mondes*, n°10, t.34, 9 juillet 1874, p. 371.
[330] *Lettre de Janssen à sa femme, Londres 6 octobre 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°180

<u>Fig. 2.1.1:</u> Dessins de dispositifs par Janssen lors de son voyage en Angleterre en 1873
<u>Source :</u> Bibliothèque de l'Institut, MS 4128, carnet n°2 « Bradford Newcastle 1873 »

En conclusion, on peut donc dire que, à l'occasion du passage de Vénus en 1874, Janssen révèle l'importance de l'observation dans les pratiques qui caractérisent l'astronomie physique. Il s'agit d'un moment fort qui lui permet de passer du dessin (ses carnets révèlent cette disposition) à la photographie. Il est un « faiseur » d'images, qui ne dédaigne pas d'établir des ponts entre science et art :

> Messieurs, fils et petit-fils d'artiste, et destiné par mes parents à la carrière de la peinture, j'ai reçu dans ma jeunesse une éducation artistique développée, et, quoique entraîné plus tard dans une direction qui semble bien opposée à la première, j'ai conservé pour les choses de l'Art le goût le plus vif […][331]

<u>Fig. 2.1.2:</u> Dessins du Soleil par Janssen lors de son voyage en Angleterre en 1873
<u>Source :</u> Bibliothèque de l'Institut, MS 4128, carnet n°2 « Bradford Newcastle 1873 »

Enfin, Janssen partage avec les physiciens intéressés par l'optique une pratique où la collaboration avec les constructeurs d'appareils a été très forte. Ses carnets et sa correspondance conservés à la Bibliothèque de l'Institut permettent d'affirmer qu'il a trouvé dans les ateliers des constructeurs de nombreuses ressources. Que ce soit avec l'opticien Hoffmann pour la mise au point de ses spectroscopes dès 1862, avec Deschiens, Redier et Prazmowski pour la construction et l'élaboration du revolver photographique, Janssen illustre parfaitement cette caractéristique des physiciens opticiens français, que Charles Fabry mentionne à propos de l'atelier du constructeur Laurent, où, « dans ce pauvre local du 21 de la rue de l'Odéon, il y venait peut être par habitude, peut être aussi pour revoir les physiciens qui se rencontraient chez Jobin ».[332]

---

[331] JANSSEN, J., *Discours prononcé à la 1ère séance du Congrès International de Photographie*, 6 août 1889
[332] FABRY, Charles , « Amédée Jobin (1861-1945), *Revue d'OptiqueTthéorique et Instrumentale*, 23 (1944), 250. Cité in BIGG, Charlotte, «Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe», Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 200, p.15..

2.1.3 Mesure et laboratoire : une alternative à l'image

Derrière l'affinité pour l'image qui définit les travaux de Janssen[333], transparaît le statut de cette image. Faye et Janssen affirment la réalité de l'image photographique, et ajoutent que celle-ci est même plus vraie que celle donnée par les lunettes ou télescopes. Cette revendication est un moyen de persuasion dans un contexte où la photographie a du mal à s'imposer dans les méthodes des astronomes. Dès 1858, Faye interpelle la communauté astronomique au sujet de l'enregistrement photographique : « […] n'y aurait-il pas avantage à remplacer des myriades d'observations entachées d'erreurs personnelles, par quelques centaines d'observations beaucoup plus précises et d'une irrécusable véracité.»[334]. En 1876, Janssen revendique clairement l'influence de Faye sur ce point :

> Une photographie d'un passage, si elle est faite avec un instrument convenable, porte avec elle un caractère impersonnel, un caractère d'authenticité, et, en outre, elle offre aux mesures, à la discussion, des éléments tellement précieux, qu'elle surpasse en valeur l'observation du plus habile astronome.
>
> J'ai senti très-vivement cette vérité, signalée déjà, il y a quelque vingt ans, au sein même de cette Académie, par notre si éminent confrère M. Faye, ainsi ai-je tenu à organiser un service de photographie céleste dans l'Observatoire d'Astronomie physique qu'on m'a fait l'honneur de me confier [335]

A l'opposé de cette attitude vis à vis de la photographie se trouve Hippolyte Fizeau. Ce dernier, même s'il est l'auteur avec Léon Foucault en 1845 du premier daguerréotype du Soleil, estime que la photographie ne reste utile aux recherches que si elle conserve un caractère scientifique. Les procès-verbaux de la commission du passage de Vénus rapporte que « M. Fizeau aurait des observations à faire sur la manière de procéder de ces messieurs, qu'il croit engagés dans une mauvaise voie. Il demande quel genre d'appareils on emploiera, et il croit qu'avec la méthode adoptée on n'aura que des photographies artistiques, qui seront

---

[333] Monique Sicard écrit à ce sujet que « Jules Janssen, Etienne Jules Marey, les frères Lumière…, chacun à leur manière, sont allés jusqu'au bout de « ce grand désir de voir ». Voir à ce sujet : Monique SICARD, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir,* Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, 1994, p.108.

[334] FAYE,H., « Sur les photographies de l'éclipse du 15 mars présentées par MM.Porro et Quinet », *CRAS*, 1858, t.46, p.709.

[335] JANSSEN, Jules, « Note sur les passages des corps hypothétiques intra-mercuriels sur le Soleil », *CRAS* , 1876, t.83, p.654.

inutiles au point de vue astronomique. »[336] Cette situation va déboucher sur des prises de position marquées en ce qui concerne l'instrumentation photographique à adopter pour les différentes stations envoyées autour du globe. Les procès-verbaux laissent transparaître des oppositions en ce qui concerne l'emploi d'appareils à long ou court foyer. Faye et Janssen optent pour des appareils à grande focale, permettant d'obtenir une image directe suffisamment grande, ne nécessitant pas l'emploi de dispositifs grossissants. Fizeau pense au contraire utiliser des appareils à court foyer, le grossissement ayant lieu par la suite à l'aide de micromètres permettant une mesure précise. De même, les avis divergent sur l'emploi de télescope ou de lunettes : si Janssen préconise l'utilisation de télescope, Fizeau penche davantage pour la lunette, le verre subissant moins l'effet de la chaleur que le miroir d'un télescope, assurant ainsi une distance focale constante. Il pense également que l'emploi du télescope est néfaste à cause de l'obturation du centre introduite par le miroir secondaire. Les procès verbaux rapportent ainsi :

> M. Fizeau a des doutes sur la méthode employée : tout télescope exige le sacrifice du centre, et les images réfléchies par l'anneau qui reste sont exposées à des déformations.
> Il faut produire des images parfaites et dès lors éviter le grossissement immédiat. Avec une petite image, on n'éprouve pas évidemment d'altération : si elle n'a que 3 centimètres de diamètre, par exemple, on pourra l'amplifier comme on voudra après le retour en France[…].
> M. Fizeau n'approuve pas non plus l'emploi des télescopes. L'écran central sera toujours un obstacle à l'exactitude de la forme, or c'est le point capital pour l'observation du passage de Vénus. Il préférerait obtenir directement l'image au moyen d'une grand lunette ; mais on est alors exposé à l'influence des rayons chimiques.[337]

Finalement apparaît encore le problème de l'image et de son utilisation : pour Faye, le passage de Vénus est l'occasion d'observations et de leur enregistrement. Au contraire, Le Verrier doute de l'utilité de l'envoi de missions lointaines, coûteuses et risquées, préférant remplacer l'observation par les calculs ou par l'expérience de laboratoire :

> M. Faye fait remarquer que jusqu'à présent on a considéré l'observation directe comme supérieure à la théorie ; toutes les nations se portant vers les lieux d'observation et consacrant à cette entreprise des sommes considérables il y a là une preuve de l'unité d'opinion à cet égard ; les astronomes étrangers sont en tête du mouvement.

---

[336] Commission du Passage de Vénus, Séance du 4 nov 1872
[337] *Ibid.*, Séance du 9 nov 1872.

M. Le Verrier ajoute que la discussion des observations passées est aussi précieuse, qu'on en a déjà de très-nombreuses et de très-exactes.
M. Faye fait remarquer que les déterminations indirectes ont pour base elles aussi, des observations antérieures, et il croit que, jusqu'à présent, l'observation directe doit être mise en première ligne. Si le temps a perfectionné les méthodes de calcul, les instruments sont aussi devenus plus parfaits ; la photographie est venue ajouter des chances d'exactitude inconnues auparavant et elle a permis d'écrire, pour ainsi dire, les observations d'une manière permanente et indiscutable. […]
M. Faye espère avant peu présenter des épreuves du Soleil de 20 centimètres de diamètre, sur lesquelles les mesures directes seront d'une grande précision.
M. Le Verrier insiste sur ce point que les observations de Picard et autres sont des trésors, qu'on utilise pas ; tandis qu'on va courir les mers pour faire un peu mieux peut-être qu'il y a cent ans, mais rien de plus quant aux méthodes, et cela en négligeant ce qu'on a chez soi. La vitesse de la lumière va rendre cette question plus délicate, et tout ce qu'on fera ne donnera pas la masse de petites planètes, tandis que, lorsqu'on aura discuté les éléments de Cérès, on verra que la masse des petites planètes est si peu de chose, qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte […].
M. Le Verrier observe que depuis Bradley on n'a pas perfectionné en raison du temps écoulé. Il conclut toutefois qu'à côté de la question scientifique, il y a maintenant une question politique, il entend par là la position de la France à l'égard des autres nations, en ce qui regarde seulement le phénomène en question.[338]

2.1.4 Le tournant métrologique d'Alfred Cornu

C'est dans cette ambiance de conflits techniques que Fizeau invite Alfred Cornu à s'intéresser au problème : « On propose de fournir le télescope de 40cm à Fizeau pour tester les combinaisons et fermer l'orifice en 1/100 de seconde. M. Le Verrier estime qu'il est plus simple de mettre le télescope et un local à la disposition de M. Fizeau. Ce dernier choisira un physicien à sa convenance. »[339] Le physicien que Fizeau va mettre en avant pour apporter une réponse technique au problème de l'observation du passage de Vénus est Alfred Cornu. Si ce physicien a été un savant de premier plan à la fin du XIX^{ème} siècle, il est aujourd'hui largement méconnu et mérite que l'on s'attarde dans un premier temps sur son parcours, sa formation, et son approche scientifique des phénomènes.

Né le 6 mars 1841 à Orléans, Cornu est issu du famille bourgeoise de province, surtout impliquée dans la magistrature : son père était juge de paix du canton de Châteauneuf sur

[338] *Ibid*., Séance du 29 octobre 1872.
[339] *Ibid.*, Séance du 29 octobre 1872.

Loire, son cousin vice président honoraire du tribunal civil d'Orléans, et son oncle, juge au tribunal civil[340]. Alfred Cornu intègre le collège Sainte-Barbe en 1859. L'année suivante, il est admis à l'Ecole Polytechnique puis à l'Ecole des Mines, où, sous la direction de Daubrée, il se passionne pour la minéralogie. En juillet 1863, il est licencié ès sciences mathématiques et physiques[341].

En novembre 1864, grâce à l'appui d'Hippolyte Fizeau, Cornu devient répétiteur à Polytechnique et le 29 mai 1867 il y est nommé professeur. Il passe sa thèse de doctorat sur la réflexion cristalline le 19 juin de la même année. En 1870, pendant la guerre, il est lieutenant d'artillerie puis travaille avec Mercadier au Service Télégraphique. Il montre à cette occasion ses talents d'expérimentateur, en construisant lui-même tous ses appareils. Ce sera une constante chez Cornu, et cette grande habileté manuelle le caractérisera tout au long de sa carrière :

> Dès ses années de Lycée, deux choses l'avaient attiré, qui devaient, dans la suite, se partager (quoique inégalement) sa vie intellectuelle : la physique et la musique. Aussitôt que la physique apparaît dans l'enseignement scolaire en troisième, on constate, par ses notes d'écolier, qu'il y est le premier de sa classe et cette place lui demeure à peu près régulièrement pendant les années suivantes. Ses parents, plus âgés, se rappellent très bien qu'il employait alors ses jours de sortie, soit à menuiser ou à tourner, soit à combiner des expériences d'acoustique, à se fabriquer un harmonica, à étudier les vibrations d'une guitare, à construire des baromètres et des thermomètres pour toute sa famille. Il prit alors cette habitude, qu'il a toujours gardée, d'observer et d'interroger, dans toute occasion, les ouvriers de métier, menuisiers, forgerons, ciseleurs, plombiers, etc., pour appliquer ensuite à ses recherches expérimentales les tours de main qu'il avait appris d'eux. [342]

De même, son gendre, Louis de Launay[343], fait dans ses « souvenirs intimes » une description concernant son beau-père qu'il est utile de reproduire en entier :

---

340 *Archives de l'Ecole Polytechnique*, Dossier Alfred Cornu, X-III-b 56. De même, son mariage le 22 juillet 1873 avec Mlle Marie Alice Vincent (19 ans) va le lier à une famille de propriétaires : le père et le cousin de son épouse était propriétaire tandis qu'un autre de ces cousins, un certain Charles Bocking Sydenham était filateur à Doullens dans la Somme. On apprend également que Cornu perdra tôt sa mère, à l'âge de deux ans.

341 AMES, J.S., «Marie-Alfred Cornu», *The Astrophysical Journal*, vol.15, 1902, p.298-301 ; GUILLAUME, Ch.-Ed., «Alfred Cornu», *La Nature*, 1902, 30e année, 1er semestre, p.319-320 ; LAUNAY, Louis de , «Souvenirs intimes», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu ; « Obituary Notices : CORNU, Alfred », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1903, p.201 ; POINCARE, H., «Alfred Cornu. Notice par M. Poincaré», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu ; RAVEAU, C., «La vie et l'œuvre de A. Cornu», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.14, 1902, p.1023-1040.

342 *Archives de l'Ecole Polytechnique*, Dossier Cornu, Cote X-III-b 56.

343 Polytechnicien, professeur à l'Ecole des Mines, Louis de Launay était géologue. Il s'est surtout intéressé à la métallogénie. Il sera académicien en 1912.

Quand il s'agissait de réaliser une de ces expériences, que sa lucidité de déduction, sa puissance d'analyse, sa profonde connaissance des théories lui avaient permis d'imaginer, son habileté manuelle et sa compétence singulière dans tous les métiers techniques, fondeur, tourneur, menuisier, serrurier, etc… lui en fournissaient aussitôt le moyen, sans qu'il eût besoin de recourir à un constructeur ou à un ouvrier d'art et de laisser refroidir ainsi la première ardeur de la conception. Avec des morceaux de bois, de vieux ressorts de réveil-matin, il réussissait à produire de véritables appareils de précision. Il ne faudrait pas croire, du reste, parce que la matière première sur laquelle il opérait était fruste, que l'objet réalisé par lui restât imparfait. Classique en tout, il soignait toutes les parties de son travail, même celles qui devaient rester invisibles ou inutilisées ; il avançait lentement et sûrement, avec un calme merveilleux, sachant dominer cette fièvre, cette nervosité qui s'emparent de tout chercheur au moment où il croit vérifier une hypothèse, réaliser une découverte. […] Il y avait là, en résumé, toute une sévère discipline spirituelle, à laquelle on n'est plus assez habitué dans notre temps d'œuvres trop souvent improvisées et, par là, il se montrait le continuateur direct des grands physiciens français, qu'il admirait avant tout : Arago, Ampère, Fresnel, Regnault, etc…[344]

Charlotte Bigg note bien quelle fût l'importance de Fresnel sur les travaux de Cornu. A une époque où l'électricité devenait un domaine important de recherches en physique, sinon le plus important, Cornu voulait maintenir la tradition de l'optique héritée de Fresnel. Cornu affirmera donc que « L'Optique me [paraît] être la Science directrice de la physique »[345]. Il va ainsi devenir le chef de file d'un groupe de physiciens opticiens, qui, dans la deuxième moitié du XIX^{e} siècle développe l'héritage de Fresnel, stigmatise l'importance de l'expérimentation et de la construction d'appareils dans la recherche scientifique, ce qui suppose des qualités manuelles évidentes. De plus, si Cornu s'intéresse à l'astronomie[346], c'est avant tout pour tester et appliquer les résultats et théories plus généraux de l'optique[347]. Si l'on regarde en effet le nombre et la nature de ses publications dans diverses revues, on ne peut que constater la permanence de l'optique (voir annexe 3)

---

[344] LAUNAY, Louis de , «Souvenirs intimes», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu.

[345] Cité dans BIGG, Charlotte, «Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe», Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002, p.9.

[346] C'est avec Laussedat que Cornu s'initiera à l'astronomie à l'Ecole Polytechnique : « Une partie de ses soirées se passait à étudier les astres dans le petit observatoire de l'Ecole avec le colonel Laussedat, qui était alors son professeur et qui resta toujours son ami. », *Archives de l'Ecole Polytechnique*, Dossier Cornu, Cote X-III-b 56.

[347] De même, Poincaré note : « Il a beaucoup écrit sur la lumière ; si, en effet, il a laissé sa trace dans toutes les branches de la physique, c'est surtout pour l'optique qu'il avait de la prédilection. Je crois que ce qui l'attirait dans l'étude de la lumière, c'est la perfection relative de cette branche, qui depuis Fresnel, semble participer à la fois de l'impeccable correction et de la sévère élégance de la géométrie elle-même. […] Il est peu de domaines en physique, où il n'ait reculé les bornes de la précision, où il ne nous ait laissé quelque petit modèle d'une perfection achevée. Mais l'optique l'a toujours attiré ; il y revenait sans cesse, même quand cette science était délaissée par la mode. » in « Alfred Cornu », Rennes, 1904.

John Davis, pour sa part, a clairement montré la vivacité de cette tradition.[348] Avec Arago, Fresnel, les Becquerel, Fizeau, Foucault, Desains, Jamin, Verdet, Mascart, Cornu…une approche particulière s'est transmise, faisant que, dans les années 1870, cinq des six membres de la section de physique à l'Académie des Sciences étaient des physiciens opticiens (Fizeau, Jamin, Desains, Cornu et E. Becquerel), le sixième, le chimiste Berthelot, étant une anomalie dans cette section. Ainsi, dans le dernier tiers du XIX^{e} siècle, un tiers des publications des physiciens français est consacré à l'optique (plus de la moitié de ces articles étant d'ailleurs écrite par Cornu). Davis expose plusieurs raisons à cet état de fait. Tout d'abord, si l'on observe ce qui passe à l'étranger, on constate qu'en Angleterre par exemple, des physiciens d'abord versés dans l'optique comme Brewster ou Forbes, ont tous changé de sujets de recherches, ne formant alors pas d'élèves dans le domaine de l'optique. Pour le cas français, Davis cite Fox et Weisz pour soutenir l'idée d'une recherche française isolée par rapport aux sujets qui commencent à se développer à l'étranger. Ceci étant dû en partie à une hiérarchisation du statut des disciplines scientifiques, privilégiant, outre une mathématisation des sciences, un souci de la précision faisant de l'astronomie un champ d'applications privilégié. Les témoignages de ce souci de la mesure la plus précise et du soin apporté aux instruments ne font qu'abonder concernant Cornu. Poincaré note par exemple que « Tous les arts qui veulent de la précision l'intéressaient, et tous les ans il allait à Nice examiner l'horloge astronomique, qu'il y avait installée d'après des principes tout nouveaux ; il y apportait des perfectionnements incessants et il approchait chaque jour de la perfection absolue. »[349].

Sur le plan épistémologique, Cornu est qualifié par Louis de Launay de « conservateur ». Le portrait qu'il dresse de Cornu est ici encore plus qu'éloquent :

> Très respectueux des traditions scientifiques, auxquelles il ne croyait fortement que parce qu'il s'était donné la peine de les passer d'abord au crible et de les soumettre lui-même à une épreuve patiente, il était conservateur en science sans être en aucune façon rétrograde et les révolutionnaires trop aventureux ou les anarchistes désordonnés ne lui plaisaient guère. Renverser un édifice, lentement construit par la méthodique accumulation des résultats expérimentaux venant confirmer l'une après l'autre les inductions théoriques, pour lui substituer à la hâte et au hasard un échafaudage brillant mais sommaire, lui semblait un danger réel. Il poussait

[348] DAVIS, J.-L., «The influence of astronomy on the character of physics», *Historical Studies in the physical sciences*, 16, 1986, p.59-92.

[349] POINCARE, Henri, *op.cit.* De même Poincaré fait remarquer que quand Cornu « imaginait ou qu'il construisait un appareil nouveau, quand il en étudiait les derniers détails, quand il le décrivait surtout, on sentait que ce n'était pas seulement à ses yeux un instrument, mais un objet d'art, et qu'il ne se préoccupait pas uniquement d'aller au but par le chemin le plus sûr et le plus court. La moindre imperfection le faisait souffrir, non parce qu'elle était une gêne, mais parce qu'elle était une tache. »

même parfois cette défiance des phrases vagues, des généralisations imaginatives au point de s'interdire à lui-même la mise en relief de certaines conséquences générales, curieuses ou originales, que pouvaient entraîner ses travaux. Ces conséquences, touchant, par exemple, à ces problèmes essentiels entre tous, la constitution de la matière, la nature de la force, le groupement des atomes, la composition des astres ou du soleil, il les développait bien en causant ; il en parlait même incidemment dans son cours de l'Ecole Polytechnique, où il cherchait à éveiller dans de jeunes esprits le goût de vastes recherches et des hautes spéculations ; mais lorsqu'il publiait un mémoire, il les indiquait à peine en quelques mots, où seuls les plus initiés réussissaient à en découvrir la trace.[350]

On comprend dès lors certains aphorismes attribués à Cornu : « La Science, ce n'est pas ce qui est nouveau ; la Science, c'est ce qui est clair »[351] ou encore « la science doit être une et simple »[352]. Cette dernière citation laisse entrevoir vers quelle hiérarchie des sciences Cornu veut tendre. En effet, la première démarche est tout d'abord l'observation et l'expérience, qui, par la mesure, amènent à la détermination de lois empiriques ; ensuite, « à l'aide d'un petit nombre d'hypothèses tirées d'une connaissance profonde des phénomènes à déduire des théorèmes généraux de la mécanique rationnelle. Lorsque ce résultat est atteint, on a constitué une branche de la physique qu'on pourrait aussi appeler rationnelle.»[353] Cornu veut donc tendre vers l'unité : unité des sciences, unité des méthodes, unité de la matière (nous verrons plus loin les idées de Cornu vis à vis de l'hydrogène, sensé représenté cette unité). Conception qui, évidemment, ne correspond pas à une spécialisation des domaines scientifiques :

Aujourd'hui, il faut l'avouer, la mode est plutôt de rétrécir son horizon, de se spécialiser, comme on dit, de se confiner dans un cercle étroit où l'on puisse devenir rapidement une autorité ; l'intérêt particulier y trouve peut-être son compte, mais la science générale y perd certainement. […] les limites que les philosophes ont tracées entre les diverses branches du savoir sont artificielles ; elles marquent seulement l'ignorance où nous sommes des liens cachés qui unissent les vérités que nos devanciers nous ont transmises ; mais les efforts des générations successives n'ont pas été vains, et nous entrevoyons déjà le jour où ces limites, désormais inutiles, s'effaceront d'elles-mêmes et où toutes les branches de la philosophie naturelle viendront se rejoindre dans une harmonieuse unité. [354]

---

[350] LAUNAY, Louis de , *op.cit.*
[351] RAVEAU, C., «La vie et l'œuvre de A. Cornu», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.14, 1902, p.1040.
[352] CORNU, Alfred, «Le rôle de la physique dans les récents progrès des sciences», *Comptes-rendus de l'AFAS*, 1890, p.132.
[353] CORNU, Alfred, *Cours autographié*, p.2-3. Cité in ATTEN, Michel, « La physique en souffrance (1850-1914) », *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994*, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994, p.225.
[354] CORNU, Alfred, «Le rôle de la physique dans les récents progrès des sciences», *AFAS*, 1890, CR I, p.123-132.

Bien évidemment, un tel discours « unitaire » ne peut qu'être rapproché du contexte de l'époque, qui voit, comme le constate Cornu, une parcellisation des connaissances plus qu'une grande synthèse. Et dans sa hiérarchie des sciences Cornu place tout en haut la physique (qui possède « à un haut degré le caractère d'une science générale »[355], d'autres sciences comme la chimie ou l'astronomie physique s'étant détachées d'elle, lui empruntant sa « dose de précision qui lui convient».

D'un point de vue méthodologique, Cornu, au lieu de formules mathématiques, préfère traduire les phénomènes par des figures et des démonstrations géométriques ; d'où son attrait pour le formalisme de l'optique et en particulier de l'optique géométrique, qui est le préalable de tous ses travaux. Concernant son approche de la science, John Davis avance que Cornu est loin de montrer un caractère positiviste, avançant sa déclaration au Congrès International de Physique de 1900 (« il n'y a dans le monde physique que de la matière et du mouvement » ou encore « la préoccupation constante de nos maîtres modernes […] consiste-t-elle à préciser la nature, à deviner les propriétés de cette matière subtile »), pointant ainsi le caractère matérialiste d'un savant n'hésitant pas à chercher à élucider la constitution physique des corps célestes. De même, pour Henry Le Chatelier, élève de Cornu, qui n'hésite pas à écrire : « Disciples fervents d'Auguste Comte, nous trouvions que notre professeur Cornu n'était pas à la page : nous refîmes son cours en supprimant de la science la notion métaphysique de la force, dont nous ne prononcions même pas le nom. »[356] De l'autre côté, Michel Atten insiste sur la démarche inductive exposée par Cornu dans son cours de physique à l'Ecole Polytechnique, sa valorisation de l'expérience amenant à la constitution de lois mathématiques, et sa méfiance par rapport aux spéculations et aux développements, caractéristiques du positivisme régnant à l'Ecole Polytechnique à cette époque[357]. Malgré tout, il paraît évident que des découvertes comme l'explication des raies noires du spectre solaire par Kirchhoff et Bunsen et leur application à l'analyse chimique des astres ont fortement discrédité un positivisme comtien pur et dur, où la tentative même d'élucidation de la constitution physique et chimique des corps célestes semblait vaine. Dominique Lecourt note également qu'Emile Littré, pourtant un disciple de la philosophie positive, prendra ses

---

[355] *Ibid.*, p.131.

[356] Cité in DHOMBRES, Jean, « L'image « scientiste » de l'Ecole Polytechnique », in *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994,* BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994, p.289.

[357] ATTEN, Michel, « La physique en souffrance 1850-1914 », in *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994,* BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Dunod, Paris, 1994

distances avec celle-ci dès 1852[358], et qualifie d' « amputé » le positivisme dont hérite la III^e^ République, consistant à « renoncer à chercher les causes des phénomènes, soumettre l'imagination à l'observation pour formuler des lois qui traduisent les relations régulières de similitude ou de succession entre les faits, de façon à prévoir ce qui sera en fonction de ce qui est. Toute hypothèse scientifique, afin d'être réellement valable, doit exclusivement porter sur ces lois qui apparaissent comme des « faits généraux », et jamais sur leur mode de production »[359]. Finalement, nous décrirons Cornu comme un expérimentaliste à la recherche de lois empiriques, méfiant vis-à-vis des théorisations hâtives, opposé à une spécialisation et une parcellisation des savoirs et des savoir-faire. Il affectionne les méthodes géométriques et place la mécanique rationnelle comme modèle d'achèvement d'une science, et il va promouvoir un renouveau du cartésianisme en France. En effet, précédant la citation relevée par John Davis, Cornu écrira que « L'esprit de Descartes plane sur la physique moderne, que dis-je ? il en est le flambeau ». Ou encore, cinq ans auparavant, en 1895, en réponse à une attaque de la théorie des ondulations et de la toute-puissance de la mécanique rationnelle par Ostwald :

> Bien loin d'être « une erreur pure et simple », comme le prétend l'auteur de la « Déroute », bien loin d'être stérile, la conception cartésienne est, au contraire, en pleine floraison : chaque jour voit disparaître un des agents physiques, une de ces entités provisoires créées pour résumer les faits : le Son, la Lumière, la Chaleur, l'Electricité et le Magnétisme viennent se ranger peu à peu dans le domaine soumis aux axiomes de la Mécanique Rationnelle : bien plus, dans chaque branche en voie de formation, c'est par la proportion de faits représentés par les conceptions mécaniques qu'on mesure le degré d'avancement et la marche du progrès.[360]

2.1.5 De l'observatoire au laboratoire : le Passage de Vénus entre image et mesure

C'est dès la fin novembre 1872 que Cornu entre dans les débats de la commission du Passage de Vénus. Lui aussi partage des doutes quant à la validité de la photographie en sciences : « L'infériorité générale de la photographie, c'est la substitution à l'image, en quelque sorte immatérielle, qui se produit au foyer des lunettes et des télescopes, d'une image matérielle,

---

[358] LECOURT, Dominique, « Positivisme », in *Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, LECOURT, Dominique (dir.), Puf, Paris, 1999.
[359] On pourra également consulter : GRANGE, Juliette, *Auguste Comte. Philosophie des Sciences. Présentation, choix de textes et notes*, Gallimard, 1996.
[360] CORNU, Alfred, « Quelques mots de réponse à « La déroute de l'atomisme contemporain » », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.6, 1895, p.1030-1031.

composée de grains plus ou moins grossiers. »[361] Sollicité par Fizeau pour imposer l'emploi de lunettes lors du passage de Vénus, il cherche à réaliser l'achromatisme chimique des objectifs : il y parvient par la méthode de l'écartement des verres. Il évite ainsi la spécialisation du matériel, en pouvant avec le même appareil passer de l'achromatisme optique à l'achromatisme chimique[362]. De même, il confirme le choix de Fizeau concernant la nature de l'appareil imageur : « M. Fizeau estime que les résultats obtenus par M. Cornu rendent les lunettes préférables aux télescopes ; avec ces derniers on a quelquefois de très-belles images, mais il arrive qu'ils n'en donnent que de médiocres. Le moindre changement de température produit des mouvements dans le verre. Pendant cinq minutes le foyer peut varier de 2 à 4 millimètres ; le télescope prend donc des foyers différents pendant la durée d'une expérience. »[363]

Lors de la séance du 15 février 1873 de la Commission du passage de Vénus, Janssen présente la méthode qu'il souhaite développer et qui aboutira au revolver photographique[364]. Fizeau et Cornu paraissent ne pas vouloir se laisser distancer et proposent d'enregistrer plusieurs photographies sur une même plaque. Mais là où Janssen compte se servir de son procédé pour enregistrer et l'image et le temps, Cornu ne voit là qu'un moyen d'économiser des plaques et du travail inutile. Voici un extrait des échanges entre spécialistes :

M. *Janssen* explique comment il entend obtenir photographiquement l'entrée de la planète sur le disque solaire et suivre le phénomène en donnant les quatre contacts. Il ne s'agit pas de supprimer les observations directes, mais d'éviter les chances d'inexactitude en inscrivant tout le phénomène. Une plaque circulaire sensibilisée et ayant devant elle une petite fenêtre tournera à chaque battement de la pendule ; la fenêtre ne restera ouverte que très-peu de temps pour la production de l'image. On produira ainsi cent photographies pour l'entrée de Vénus et autant pour la sortie au premier bord du Soleil ; un pareil sera obtenu, lorsque la planète quittera le disque lumineux. Ces plaques de cent épreuves signaleront toutes les particularités de l'entrée, ponts, gouttes, et représenteront le phénomène d'une manière durable. L'appareil employé peut s'adapter à celui de M. Wolf, qui n'est d'aucun usage pendant le passage sur le bord du Soleil, puisqu'il sert à mesurer les distances des

---

[361] CORNU, Alfred, « La photographie céleste, Conférence du 17 janvier 1892 » , *Annales du CNAM*

[362] L'achromatisme chimique est l'absence de dispersion des rayons ayant une activité chimique sur les supports photosensibles. L'achromatisme optique est quant à lui l'absence de dispersion des rayons assurant l'observation visuelle.

[363] *Commission du Passage de Vénus*, Séance du 25 janvier 1873.

[364] Sur le revolver photographique, voir : CANALES, Jimena, « Photogenic Venus. The « Cinematographic Turn » and Its Alternatives in Nineteenth-Century France », *Isis*, 2002, 93, p.585-613 ; SICARD, Monique, « Passage de Vénus, Le Revolver Photographique de Jules Janssen », *Etudes Photographiques*, 4, 1998, p.45-63 ; LAUNAY, Françoise, HINGLEY, Peter D., « Jules Janssen's 'revolver photographique' and its british derivative, 'the Janssen slide' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, 2005, p.57-79 ; LAUNAY, Françoise, « Jules Janssen et la photographie », in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000,*Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22-31.

centres quand la planète se trouve vers le milieu du Soleil. M. Janssen promet une note sur ce qu'il vient d'exposer.

M. *Fizeau* fait remarquer que tous ceux qui se sont occupé de photographie se sont proposés d'obtenir des épreuves près du contact, et il prie M. Cornu de faire connaître son procédé, qui a des points de ressemblance avec celui de M. Janssen.

M. *Cornu* explique qu'il a l'intention de produire autant d'images que possible, en économisant la peine et le temps. Les images données par la lunette sont plus petites que les image obtenues au moyen du télescope et peuvent être groupées en grand nombre sur une même plaque ; si l'on parvenait à produire dix images sur la même plaque, il y aurait dix fois moins de plaques à préparer. […]

M. *Janssen* explique que l'idée de photographier toutes les circonstances physiques de l'entrée lui est personnelle ; on aura toutes les phases de l'entrée et de la sortie à cause du mouvement lent des deux astres l'un à l'égard de l'autre ; pendant cette opération, le temps sera enregistré exactement pour l'observation à l'œil comme pour l'observation par la photographie. M. Janssen demande quelques fonds pour donner suite à son idée.

M. *Cornu* s'est occupé du même sujet ; et le mode opératoire qu'il vient de faire connaître permet d'obtenir quarante ou cinquante épreuves, pendant le passage de la planète sur le bord du Soleil.

<u>Fig. 2.1.3:</u> Le revolver photographique de Jules Janssen[365]

<u>Source :</u> FLAMMARION, Camille, « Le Passage de Vénus. Résultats des expéditions françaises », *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.356-358.

On voit donc que Cornu et Janssen s'affrontent sur deux niveaux : l'un touchant à la partie mécanique, l'autre concernant la partie optique : le choix entre lunette ou télescope implique des recherches sur l'achromatisme chimique. Là où, nous l'avons vu, Cornu milite pour l'écartement des verres de l'objectif (méthode proposée longtemps avant par John Herschel),

[365] Le revolver photographique de Janssen permettra ainsi de réaliser une successions régulière de photographies. L'appareil est muni d'une plaque sensible daguerrienne en cuivre argenté effectuant un tour en 72 secondes. Un engrenage à croix de Malte permet l'obtention de poses régulières. Un disque obturateur, muni de douze ouvertures, effectue quant à lui, un tour complet en 18 secondes. Au foyer de la lunette, servant de chambre noire, une plaque photographique enregistre donc 48 images prises toutes les secondes et demie. (Description d'après SICARD, Monique, *La fabrique du regard*, Editions Odile Jacob, 1998.) Si l'appareil de Janssen n'équipera que son expédition sur les six missions françaises (toutes les autres adopteront la disposition de Cornu), c'est à lui que Marey et les frères Lumière attribueront la paternité de leurs inventions, à savoir respectivement le fusil photographique et le cinématographe.

Janssen va travailler en collaboration avec le constructeur Prazmowski pour se servir de son savoir-faire en spectroscopie. En effet, Janssen va chercher à obtenir les spectres photographiques des verres flint et crown, et déterminer quelle raie offre la meilleure sensibilité lorsque l'on diminue le temps de pose. Janssen et Cornu obtiennent tous deux le même résultat, à savoir achromatiser les objectifs pour la raie G. Cependant, Cornu obtient ce résultat par l'utilisation de méthodes géométriques, tandis que Janssen cherche à « voir » par la spectroscopie où se situe la raie la plus sensible[366].

Fig. 2.1.4: Obtention de l'achromatisme des objectifs employés pour la photographie (Cornu). Obtention de l'achromatisme des supports photosensibles par réduction successive des temps de pose (Janssen).
Source : CORNU, Alfred,» Sur la transformation de l'achromatisme optique des objectifs en achromatisme chimique », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1873, p.202 ; JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.1, p.391 (tiré de « Notice sur les progrès récents de la physique solaire », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1879.

En conclusion, on voit grâce aux deux documents de la figure 2.1.4 comment diffèrent les approches de ces deux personnages marquants de l'astronomie physique française : ce sont deux cultures scientifiques différentes, et par les moyens et par les buts qu'elles se fixent. Janssen cherche à obtenir des images, et envisage aussi l'image comme un outil heuristique. De l'autre côté, Cornu cherche à géométriser les phénomènes, pour éventuellement algébriser par la suite. Entre le savant-artiste et le savant-mathématicien, le passage de Vénus met en exergue deux méthodes qui vont fortement façonner l'astrophysique française. En effet, si les expériences de laboratoire sont prédominantes pour la future astrophysique, que doivent-elles apporter ? Sont-elles des expériences préliminaires à une science de terrain, de voyage (d'où

[366] Nous ne cherchons pas ici à comparer les deux méthodes *stricto sensu*. Il s'agit simplement de mettre en parallèle deux approches différentes, l'une géométrique, l'autre par l'image. En effet, Cornu cherche de son côté l'achromatisme des verres, tandis que Janssen étudie pour sa part où se trouve le maximum de sensibilité des supports photosensibles.

la nécessité de spécialiser le matériel comme le fait Janssen, de façon à s'assurer le succès après souvent des mois de voyage à la poursuite des éclipses ou des passages planétaires), ou sont-elles au contraire un moyen d'enraciner la pratique au laboratoire même, en s'évitant la fatigue et les chances d'insuccès dues à l'éloignement, ce que Cornu préférera en proposant la détermination de la parallaxe solaire grâce à une mesure précise de la vitesse de la lumière ?

> Je crois bien qu'il a été fait (particulièrement chez vous) des expériences analogues à celles de M. Cornu, mais je ne me rappelle pas les indications précises, ayez donc la bonté de m'envoyer les indications des publications faites à ce sujet à savoir des raies noires apparaissant par l'absorption de vapeurs plus froides entourant une vapeur centrale plus chaude. Ceci a été obtenu notamment avec l'arc électrique.[…][367]

Le brouillon de la lettre dont est extrait ce passage permet de situer les relations professionnelles qu'ont entretenues Janssen et Cornu. Ceux-ci n'ont, à notre connaissance, jamais collaboré, mais leurs travaux étaient suffisamment proches pour susciter curiosité ou méfiance : dès 1867, Janssen cherche en Angleterre, auprès de William Huggins dans le cas présent, des informations sur les expériences spectroscopiques de Cornu. C'est sur le même sujet que Janssen et Cornu vont en 1871, échanger par le biais des *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* des idées sur la constitution du Soleil, sur fond de polémique.

En effet, c'est en étudiant le spectre de l'étincelle du magnésium pour son utilisation comme lumière monochromatique dans la photographie des anneaux colorés (pour l'étude de la déformation de la surface extérieure des solides élastiques) que Cornu note l'intérêt de ses observations dans l'étude spectrale du Soleil. Il en vient à émettre des idées sur la constitution physique du Soleil et s'oppose alors à la théorie de Kirchhoff : contrairement au physicien allemand, il pense que l'absorption se fait sur la photosphère même et qu'une épaisseur très faible de vapeurs est suffisante pour produire cette absorption. Ainsi, il envisage ses expériences comme une reproduction hypothétique du Soleil. Janssen, l'homme de terrain averti, se positionne alors par rapport à ce nouveau venu (Cornu n'a alors que trente ans, Janssen quarante-sept) : «J'apprécie comme elles le méritent les expériences du jeune et savant professeur de l'Ecole Polytechnique, mais je ne suis pas d'accord avec lui sur la manière dont il les envisage dans leurs rapports avec la constitution du Soleil.»[368]

La réponse de Janssen est l'occasion d'établir la priorité de ses recherches, ainsi que de situer les travaux qu'il mène depuis près de dix ans. Tout d'abord, ses études confirment les vues

---

[367] *Lettre de Janssen à William Huggins, 1867* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4135, n°330.
[368] JANSSEN, J., «Sur la constitution du soleil», CRAS, 1871, t.73, p.432.

théoriques d'Hervé Faye, et contredit les idées de Kirchhoff. Si ce dernier a montré le premier la présence de vapeurs métalliques dans le Soleil, Janssen montre lors d'une éclipse annulaire à Trani en 1867 que cette couche absorbante n'existe pas. De plus, l'éclipse du 18 août 1868 lui apprend que l'atmosphère est constituée non de vapeurs métalliques mais d'hydrogène raréfié : c'est à la surface même de l'astre et non dans une hypothétique atmosphère absorbante qu'il faut trouver l'explication des raies noires du spectre solaire. De la même façon Cornu se porte contre les vues théoriques de Kirchhoff : pour lui, «[…] il n'est nullement utile de supposer une atmosphère continue, si mince qu'elle soit, autour du Soleil […]».[369]A un niveau expérimental, Janssen définit cependant les limites des expériences de Cornu : de par les conditions opératoires, il est hasardeux de vouloir reproduire au laboratoire les conditions régnant dans le soleil ou à sa surface. En cela Janssen reproche à Cornu les mêmes erreurs que Kirchhoff a précédemment faites.

Suit alors une réplique de Cornu[370] qui exprime son étonnement à la critique de Janssen. Pour Cornu, Janssen n'a aucune objection à lui apporter et abonde même dans son sens. Il termine assez ironiquement : «Je demanderai donc à l'Académie la permission de maintenir les conclusions de mon travail, relatives à la constitution du Soleil, jusqu'à ce que M. Janssen ait précisé les points qu'il n'admet pas, et qu'il ait apporté des faits nouveaux, et non des hypothèses, pour les combattre». Janssen répond à nouveau, en insistant sur la difficulté de généraliser une expérience de laboratoire à la compréhension d'un phénomène aussi complexe que celui touchant à la constitution du Soleil.

Janssen cherchera constamment à « surveiller » les travaux de Cornu, comme le note cette remarque de sa femme : « […] je comprends que tu désires entendre Mr Cornu ; tu sauras plus promptement s'il te donne dans son sujet la part qui te revient.»[371] Il apparaît donc important de regarder dans quelle mesure ces deux hommes ont joué un rôle dans l'émergence et l'institutionnalisation d'un nouveau champ du savoir : nous allons voir en effet qu'après ce moment nodal que constitue le passage de Vénus, Janssen va fonder l'observatoire de Meudon et s'imposer dans le paysage astronomique français, tandis que Cornu, si sa visibilité « publique » sera moins importante, son poids institutionnel concernant l'astronomie physique sera autant voire plus important que celui de Janssen.

---

[369] CORNU, A., « Sur le renversement des raies spectrales des vapeurs métalliques», CRAS, 1871, t.73, p.337
[370] CORNU, A., « Réponse à une note de M. Janssen», CRAS, 1871, t.73, p.545
[371] *Lettre de Mme Janssen à son mari, 8 septembre 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4134, n°143.

2.2 L'observatoire de Meudon : l'image et les voyages

2.2.1 La fondation d'un observatoire d'Astronomie Physique en France

Pendant les années 1860, nous avons vu que les travaux de Kirchhoff et Bunsen ont permis de nombreuses découvertes dans les domaines de la chimie, de la physique, de l'astronomie. Pour cette dernière discipline, l'utilisation du spectroscope bouleverse en France les habitudes, et nous avons déjà examiné la nature des travaux réalisés par Wolf, Rayet et Janssen. Il apparaît que, jusqu'au début des années 1870, ces travaux suscitent de l'intérêt, mais questionnent également la pratique de l'astronomie : l'OP est effectivement le temple de la mécanique céleste. Pour le cas de Rayet, la thèse de Laetitia Maison a largement montré la difficulté pour un astronome dans l'institution d'introduire de façon régulière et systématique de nouvelles techniques. Durant la décennie 1860-1870, nous avons aussi vu que Janssen est un scientifique marginal, qui utilise une forte sociabilité pour pouvoir financer ses projets. A la fin de cette décennie, il semble vouloir profiter de la renommée qu'il a acquise au cours de l'éclipse de 1868 pour imposer l'idée de la construction d'un lieu spécialement dédié à cette nouvelle technique qu'est l'analyse spectrale. Ainsi, en novembre 1869, il soumet à l'Académie un mémoire sur la création d'un nouvel observatoire de physique céleste[372]. Les premières phrases de ce mémoire constituent une revendication forte :

> Depuis dix années, de grandes découvertes ont été faites sur la lumière. Ces découvertes appliquées à l'astronomie ont donné les résultats les plus importants et les plus inattendus. L'astronomie compte une branche de plus et cette branche est déjà si considérable qu'elle mérite d'être dotée de moyens spéciaux.

Pour Janssen, la nouvelle astronomie qui se développe est différente de l'astronomie traditionnelle : si cette dernière s'occupe uniquement du côté mécanique et géométrique du problème des cieux, « la nouvelle va plus loin ». En effet, cette nouvelle astronomie ne s'occupe pas d'utiliser « la lumière céleste telle que les astres nous l'envoient », mais elle la décompose, puis compare le spectre obtenu avec celui obtenu par les corps terrestres pour parvenir à la constitution physique et chimique de ces astres. Il rappelle ensuite un historique

---

[372] JANSSEN, Jules, « Mémoire inédit de Jules Janssen sur la création d'un nouvel observatoire de physique céleste. », *Archives de l'Académie des Sciences*.

de ses travaux, depuis ses études sur les raies telluriques jusqu'à sa découverte d'une méthode d'observation des protubérances hors éclipse : « En Angleterre, en Italie, en Allemagne, en Amérique, les astronomes ont fait usage de la nouvelle méthode ; ils ont confirmé et étudié les résultats que j'avais d'abord obtenus. » Il est à noter qu'à cette époque Janssen ne cite dans son mémoire que l'analyse spectrale, mais ne mentionne pas la photographie pourtant utilisée dès 1860 lors d'une éclipse de Soleil, et même pour la photographie spectrale.
Ainsi, Janssen revendique clairement la naissance d'un champ disciplinaire nouveau, celui-ci étant issu de l'astronomie, renouvelée par des découvertes réalisées en physique, fondée sur l'unité matérielle de l'univers qui permet des inférences du laboratoire au cosmos. Janssen veut donc développer cette « branche » de l'astronomie avec des moyens spéciaux, hors de l'institution (c'est-à-dire l'OP). Mais la réponse de cette institution est assez catégorique. Dans une note qui accompagne le mémoire de Janssen, Jourdain écrit :

> […] Il est certain qu'il y a un champ immense de recherches ouvert à l'astronomie. L'Allemagne, l'Angleterre, l'Italie ont déjà fait de nobles efforts pour pénétrer ce champ ; la France ne doit pas rester en arrière et M. Janssen nous paraît tout à fait fondé à réclamer pour les travaux de cet ordre les encouragements et l'appui du gouvernement français.
> Mais faut-il, comme le propose M. Janssen, fonder un nouvel observatoire spécialement affecté à la physique céleste . On ne le pense pas. Non seulement cette fondation entraînerait des dépenses et offrirait des difficultés qui doivent faire reculer devant une telle entreprise, mais il n'est nullement démontré que les travaux, dont M. Janssen démontre si bien l'utilité et la nécessité, ne puissent pas se faire dans l'un des observatoires qui existent. Il semble que, soit à l'Observatoire impériale, soit dans un autre centre, on pourrait organiser un service régulier d'observations ayant pour objet la constitution des corps célestes au moyen de l'analyse spectrale.

Puis, Jourdain renvoie la question à Le Verrier, directeur de l'OP et à Sainte Claire Deville, professeur à l'Ecole Normale Supérieure et à la Sorbonne, et l'un des rares savants français versés dans l'analyse spectrale.

Ce n'est qu'après la guerre de 1870 que le projet sera à nouveau étudié. Entre-temps, Janssen abandonne-t-il l'idée de pouvoir se doter d'un lieu spécifique pour ses recherches ? La question peut se poser au regard de la correspondance de Janssen. En effet, il semble que celui-ci ait pensé obtenir un poste de titulaire à l'OP, si l'on en croit une lettre de Le Verrier qui lui retransmet une décision administrative concernant ce projet :

Mr le Dr., en appelant mon attention sur la situation que Mr. Janssen s'est acquise par des travaux en France et à l'étranger, vous me faites l'honneur de me proposer de confier à ce savant un nouvel emploi d'astronome titulaire qui serait créé à l'Observatoire de Paris.

J'aurais été heureux d'assurer à l'Observatoire la Collaboration de Mr. Janssen dont j'apprécie personnellement les très réels mérites. Mais il me paraît impossible d'inscrire une nouvelle demande d'augmentation s'élevant à 12 000F aux demandes déjà soumises à la C^{on} du Budget […] [373]

Ainsi, en juillet1873, Janssen n'a réussi ni à créer un lieu spécifique pour ses recherches, ni à obtenir un statut au sein de l'institution phare de l'astronomie française. En décembre 1873, Stanislas Meunier décrit d'ailleurs le climat conflictuel qui règne autour de la promotion des nouvelles études d'astronomie physique, lors d'un débat réunissant Dumas, Le Verrier, Wurtz, Berthelot et Janssen. Lors de la séance du 8 décembre en effet sont discutées les études d'analyse spectrale des étoiles faites par Lockyer. A cette occasion, certains éléments du débat se font jour, à savoir la notion d'évolution stellaire (à laquelle Janssen adhère, et dont il réclame d'ailleurs la priorité avant Lockyer), ainsi que l'éventualité d'une dissociation des éléments simples comme l'hydrogène, en éléments encore plus simples. Le débat prend alors une autre direction lorsque Dumas regrette amèrement le manque de moyens dont dispose Janssen :

M. Dumas, d'une voix émue, s'est empressée d'appuyer la réclamation de M. Janssen et d'exprimer sa douleur de voir celui-ci, pendant que nos voisins d' Outre-Manche sont si admirablement outillés, absolument privé de moyens de travail. A ces mots, M. Le Verrier, comme si sa chaise eût subitement livré passage à un cent d'épingles, se lève brusquement: « Ce n'est pas ma faute, dit-il, s'il en est ainsi et je suis le premier à le déplorer ; si cela dépendait de moi cet état de choses ne durerait pas longtemps, etc… » Cependant, comme personne ne l'avait nommé, on peut s'étonner de cette susceptibilité. M. le directeur de l'Observatoire a dépensé toute son éloquence pour dire qu'il lui semblait dommage de compromettre d'admirables travaux pour des conséquences hasardées. Il regarde tout ce qui a rapport à une *évolution* des étoiles comme absolument faux et suivant lui, si les étoiles étaient en passe de se refroidir, il y a longtemps maintenant qu'il n'y en aurait plus une seule assez chaude pour rayonner.[374]

Mais Janssen sait s'insinuer dans les arcanes du pouvoir politique. En effet, les carnets personnels de Janssen nous indiquent que celui-ci, entre 1870 et 1873 voit régulièrement Thiers, alors Président de la République. Janssen note entre autres le 25 juin 1872 : « M.

---

[373] *Lettre de Le Verrier à Janssen, Paris 14 juillet 1873* , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4136, n°351.
[374] MEUNIER, Stanislas, *La Nature*, 2ème année, n°28, 1874, p.31

Thiers apostrophe le ministre [au sujet de ?] ma candidature »[375]. Puis le surlendemain : « M. Thiers tient à ma candidature ». Le 19 juillet 1872, à nouveau : « M. Thiers. Je poursuis mon but ». Et alors que Thiers est renversé le 24 mai 1873 par les monarchistes, Janssen le rencontre le lendemain, et notera dans son carnet : « le soir à Versailles. Visite à M.Thiers avant son départ »[376].

Soutenu par Thiers, Janssen va trouver un soutien fort auprès du député des Hautes-Alpes, Louis Cézanne. Ce dernier, ingénieur des Ponts et Chaussées et « l'un des plus fameux entrepreneurs de travaux publics à ce moment »[377], saisit l'Assemblée Nationale le 22 juillet 1874 à ce sujet, tandis que le Gouvernement prend l'engagement de mettre le projet à l'étude. Quelle part a pris Janssen dans cette initiative politique plus forte que celle de 1869 au sujet de la création d'un observatoire d'astronomie physique ? Certainement importante si l'on se fie à l'un de ses carnets comprenant la période de novembre 1873 à mars 1874. Janssen y note : « Observat [pour observatoire probablement]. voir M. Thiers écrire M. [?] documens Cézanne ». Ainsi, contrairement à la tentative de 1869, on observe que Janssen s'est aidé d'une sociabilité politique forte pour faire réaliser son projet.

Suite au discours de Cézanne, l'Académie des Sciences décide la création d'une commission, chargée d'éclairer l'Assemblée. Cette commission est composée de Loewy, Edmond Becquerel, Bertrand, Dumas et Faye. Faye rapporte tout d'abord qu' « un honorable député, M. Cézanne, a signalé au Corps législatif la nécessité de créer à Paris un Observatoire spécialement consacré aux études d'Astronomie physique »[378]. Il fait ensuite le constat que des méthodes physiques pénètrent de plus en plus l'astronomie : la polarisation, l'analyse spectrale notamment. Il note également que des observatoires d'un nouveau genre se sont déjà construits en Allemagne, en Angleterre ou en Amérique. Il décrit ces nouveau lieux du savoir:

> Ce ne sont plus ici la Géométrie ni la Mécanique qui dominent, c'est la Physique ou la Chimie. Tout dans ces Observatoires nouveaux, instruments et personnel, a dû prendre un tour spécial. S'agit-il du personnel ? Nous y trouvons des physiciens, comme M. Huggins et M. Miller ou M. Lockyer, associés parfois à des

---

[375] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4127, carnet n°10.

[376] Thiers était passionné de science : il fréquentait beaucoup l'Ecole Normale où Mascart et Sainte Claire Deville notamment l'initiaient à la physique et à la chimie. Voir notamment : JANET, Paul, «La vie et les œuvres de E. Mascart», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.20, 1905, p.576 ; GUIRAL, Pierre, *Adolphe Thiers*, Fayard, Paris, 1986, p.489.

[377] MARNOT, Bruno, *Les Ingénieurs au Parlement sous la IIIème République*, CNRS Editions, Paris, 2000, p.36. Il est à noter que Cézanne, avant de devenir député des Hautes-Alpes , a passé une carrière de vingt-sept ans dans plusieurs pays d'Europe.

[378] « Rapport de la Commission nommée le 17 août pour préparer une réponse à la Lettre adressée par M. le Ministre de l'Instruction publique, au sujet de l'opportunité de la création d'un Observatoire d'Astronomie Physique aux environs de Paris », *CRAS*, 1874, t.79, p.1018.

chimistes comme M. Frankland. S'agit-il des instruments ? Ce ne sont plus des cercles méridiens, des équatoriaux gigantesques, des horloges d'une précision incomparable qu'on sait aujourd'hui soustraire aux moindres variations de température: on dirait plutôt un laboratoire de Chimie [...][379]

Pour Faye, cette nouvelle branche nécessite de nouveaux acteurs, car « nous autres astronomes anciens, nous avons peine à nous y reconnaître, tant les idées, les méthodes, les objets que l'on a en vue, et jusqu'à l'esprit qui y règne, diffèrent des nôtres »[380]. Edmond Becquerel, dans une note séparée, argumente en faveur d'un nouvel observatoire tout en faisant la promotion de son nouvel ouvrage consacré notamment à la formation de la Terre. A partir d'un discours basé sur l'unité matérielle de l'Univers, et de l'unité des forces qui le régissent, Becquerel estime que la constitution du Soleil sera élucidé notamment grâce aux recherches géologiques sur notre propre globe, s'inscrivant alors dans l'idée que Janssen défend concernant l'évolution des étoiles : la Terre et le Soleil, et tous les autres astres, subissent la même évolution, la Terre étant aujourd'hui solide à cause d'un refroidissement plus rapide que le Soleil. Pour Becquerel, le lien entre les différentes disciplines est instrumental : c'est le spectroscope qui constitue l'outil privilégié : « l'étude de la constitution du Soleil exige le concours, non-seulement de l'astronome, mais encore d'observateurs ayant des connaissances générales en Physique, en Géologie, en Chimie, et possédant à fond la pratique du spectroscope »[381].

C'est donc à Janssen qu'il va naturellement incomber la tâche d'« élever un véritable laboratoire de Physique, de Chimie, de Photographie célestes »[382]. Et, « par décret en date du 6 septembre 1875, rendu sur la proposition du Ministre de l'Instruction publique, des cultes et des beaux-arts, il a été créé à Paris, un Observatoire d'Astronomie physique dont la direction relève exclusivement du Ministre de l'Instruction publique. Par le même décret, M. Janssen, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, a été nommé directeur de cet observatoire. »[383] Installé provisoirement à Montmartre, l'observatoire sera définitivement construit à Meudon, que l'armée, en 1875, occupe toujours. Après un crédit initial de 50 000 F, Janssen recevra la même somme pour 1876, 1877, 1878 et 1879. Enfin, en 1878, sous le ministère de Léon Say et Bardoux, les crédits pour la restauration du château et les achats d'instruments sont votés: 1 035 000 F, répartis sur 1879, 1880, 1881.

---

[379] *Ibid*. p.1022.
[380] *Ibid*.
[381] *Ibid*., p.1089.
[382] *Ibid*. p.1024.
[383] *La Nature*, 3ème année, n°121, 1875, p.269.

Mais vingt ans après le décret signifiant sa création, l'observatoire n'est toujours pas fini. Ce n'est qu'en 1895 que Janssen installe la grande coupole qui permettra de se servir de la grande lunette prête depuis un an; il regrette ainsi: « On a pu s'étonner que l'observatoire, dont la création fut arrêtée en principe en 1876, ait mis un temps aussi long à se terminer (et il ne l'est pas encore).[...] D'une manière générale, on peut dire que si cette création a été aussi retardée, c'est qu'elle s'est déroulée à travers deux périodes financières bien différentes: une première, encore favorable, où les crédits de création ont été votés; une seconde où les difficultés financières s'accusaient de plus en plus[...] »[384]

Quoi qu'il en soit, la France s'est dotée, depuis 1876, d'un observatoire d'astronomie expérimentale, dont Janssen est le maître d'œuvre: « L'astronomie expérimentale, née depuis quarante ans, a déjà exigé la création de tout un attirail d'instruments spéciaux, installés dans des observatoires qui ressemblent à des laboratoires de chimie et de physique. On les appelle des observatoires d'astronomie physique ou, plus simplement, d'astrophysique. Tel est l'observatoire de Meudon, fondé en 1878, et dont la création est due entièrement à l'infatigable zèle de M. Janssen et à l'éclat de ses découvertes », notera l'astronome Radau dans la *Revue des Deux-Mondes*, le 15 octobre 1900.

2.2.2 Par et pour l'image

En janvier 1873, Janssen est élu à l'Académie des Sciences, (à la place laissée vacante par Laugier à la section d'Astronomie) et au Bureau des Longitudes (en tant que membre géographe). Il est alors occupé par les préparatifs du passage de Vénus, et séjourne en Angleterre où il trouve de nombreuses ressources techniques comme nous l'avons vu. D'après ses carnets[385], il est de retour du Japon le 26 juin 1875, après avoir observé une nouvelle éclipse de Soleil le 6 avril 1875 à Malacca en se joignant avec la mission anglaise dirigée par Arthur Schuster[386]. Après dix mois d'absence (Janssen a embarqué le 16 août 1874 à Marseille pour le Japon), Janssen ne reste que deux mois en France : après un dîner avec Thiers le 12 août, il séjourne en Angleterre du 24 août au 10 septembre pour exposer à la BAAS ses résultats concernant le passage de Vénus et l'observation de l'éclipse[387]. Il en

---

[384] JANSSEN, Jules., « Sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon », *CRAS*, 1895, t.120, p.1237-1238.

[385] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4128, carnet n°9.

[386] Il est à noter que le revolver photographique de Janssen était utilisé pour cette observation. Voir « The Total Eclipse of the Sun of 1875, April 6 », *MNRAS*, vol.36, 1876, p.181-185.

[387] JANSSEN, Jules, « On the total solar eclipse of April 5, 1875, observed at Bangchallô (Siam) », *Reports of the BAAS*, 1875, p.24 ; « On the photographic revolver, and on observations of the Transit of Venus, made in Japan », *Ibid.*, p.26 ; « On the position of the magnetic equator in the Gulf of Siam and in the Gulf of Bengal », *Ibid.*, p.28-29.

profite pour visiter le nouvel observatoire d'astronomie physique d'Oxford, fondé en 1873 par Charles Pritchard, et financé par l'Université d'Oxford[388]. Janssen note dans ses carnets qu'il y a vu notamment une machine à polir, un régulateur à frottement, un équatorial de 12, 5 inch et de 180 inch de foyer dont il note le prix (1 500 livres) et rajoute : « prix total 5 000 batiment 3 500 instrumens 1 500 ».[389]

A son retour, Janssen va s'occuper activement de son nouvel observatoire, notamment la recherche d'un lieu d'implantation. En 1896, Janssen réécrit comment le choix s'est porté sur Meudon :

> Il s'agissait de trouver le lieu d'une installation définitive. Deux domaines de l'Etat pouvaient se prêter à cette création : la Malmaison et Meudon. M. de Cardaillac, alors Directeur des Bâtiments civils, me conseilla de demander Meudon. Ce beau domaine, dont le château avait, il est vrai, été incendié après la guerre, était porté au compte de la liquidation pour une somme dérisoire et s'il était vendu, il était morcelé et dépecé. Il y avait donc une raison d'intérêt national à conserver à l'Etat un aussi précieux domaine qui, indépendamment de l'observatoire, pouvait se prêter à d'autres installations d'ordre scientifique et à des travaux et des expériences de tous genres.[390]

Janssen invoque donc des raisons politiques et scientifiques : hormis ses propres recherches, s'installeront à Meudon le colonel Laussedat et son service des ballons militaires, ainsi que Berthelot et sa station de chimie végétale. C'est donc un grand centre scientifique qui se dessine à Meudon. Janssen, d'après ses carnets, déménage le 13 octobre 1876[391], mais devra attendre 1878, comme nous l'avons vu, pour recevoir les crédits pour la restauration du château et l'achat d'instruments. Les premiers achats effectués par Janssen à l'aide de ce crédit sont largement portés vers la photographie :

---

[388] Sur cet observatoire, on peut consulter : PRITCHARD, Charles, « The new Savilian Observatory for Astronomical Physics at Oxford », *MNRAS* , vol.34, 1873, p.49-54 ; « The University Observatory at Oxford », *MNRAS*, vol.36, 1875, p.1-5 ; *Astronomical Observations made at the University Observatory, Oxford*, 1878, p.iii-vi ; « Charles Pritchard », *MNRAS*, vol.54, 1894, p.198-204 ; « Rev. Charles Pritchard », *The Observatory*, vol.16, 1893, p.256-259.

[389] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4128, carnet n°10.

[390] *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon (Seine-et-Oise)*, Gauthier-Villars, Paris, 1896, p.52-53.

[391] Bibliothèque de l'Institut, Ms 4128, carnet n°12.

Constructeur	Matériel
GAUTIER	1 fente à coulisse pour lunette photographique manchon carré en fonte pour objectif photographique 1 support pour chercheur et cadre photographique au télescope 50 cm 4 galets au pied de la grande lunette photo. vernis au noir japonais les pièces d'acier des instruments équilibré la lunette 8 pouces et la lunette 6 pouces
LOEVEN	armes 63, rue de Rivoli Revolver calibre 7 mm (Arents)
GAUTIER	2 cercles divisés l'un donnant les 4 s de temps pour les verniers l'autre 30 " d'arc cercle denté de 46 cm de diamètre idem à rainures
SAINT GOBAIN, CHAUNY et CYREY	Glaces 81*81 (x25) 108*108 (x2) 57*57 (x25) 36*36 (*50)
BLIN	15 mars 1878 2 petits corps de lunettes oculaires 8F 1 lunette, corps cuivre, mouvement à crémaillère, boîte en barillet, alésé et rodée à frottements dans le corps, montage du jeu d'oculaires, ajustements d'objectifs 115f
HORNE ET THORNTRAITE	31 décembre 1878 1 télescope à réflexion miroir 30 cm de diamètre avec cercles de déclinaison et horaire avec rappels et 2 [?] mouvements d'horlogerie pour suivre les axes
BRUNNER	31 décembre 1878 comparateur de précision pour la mesure des images solaires (images 30 cm aux échelles et microscopes micrométriques)

Tableau 1 : Extraits des bordereaux de l'observatoire de Meudon pour 1878

Source : *AN*, F17 3746

Janssen met alors tout en œuvre pour utiliser la photographie de façon quasi systématique dans ses recherches, tout en s'attachant à promouvoir intensément l'utilisation de cette technique. Il s'attache ainsi dès les débuts de son observatoire les services non d'un astronome mais d'un photographe : il s'agira tout d'abord de Pierre-Marie Arents jusqu'en

1880, aidé de Esmonnet[392]. Janssen souhaite proposer un poste de photographe titulaire à Arents qui l'a déjà accompagné au Japon pour l'observation du passage de Vénus, mais celui-ci n'est pas français et pas encore naturalisé, ce qui semble poser problème. Quoi qu'il en soit, Arents quittera l'observatoire de Meudon le 8 mai 1880 pour monter une entreprise de gravure héliographique installée 43, rue Tournefort à Paris, et que Janssen sollicitera d'ailleurs. C'est un certain Louis Pasteur qui le remplace, tandis que le 17 février est nommé le premier astronome de l'observatoire depuis sa création en 1875 : Etienne-Léopold Trouvelot. Ce même jour sera également embauché Théodore Sardnal, qui avait déjà travaillé à Meudon avant 1882, avec une fonction que Janssen hésite à qualifier d'aide physicien ou d'aide photographe[393].

Janssen cherche donc à perfectionner le plus possible la photographie céleste, qu'il va appliquer au Soleil, à la Lune, aux comètes, mais en la couplant à d'autres techniques comme la photométrie. L'étude du Soleil est bien évidemment au cœur du projet d'un observatoire d'astronomie physique que Janssen a défendu auprès des politiques, projet, nous l'avons vu, différent de celui proposé en 1869 et centré autour de l'analyse spectrale. Janssen écrira par la suite :

> Au contraire, s'il était possible d'obtenir de la surface solaire des images aussi bonnes que celles que les plus grands instruments nous donnent, de manière à substituer l'étude calme et reposée du cabinet à celle qu'on peut faire dans les instruments, quels services rendus ! […] Voilà, Messieurs, l'idée qui nous a guidé et soutenu à Meudon, pour chercher à élever au Soleil un monument digne de lui[394].

Ses recherches visent à voir les détails de la surface solaire avec le plus de détails possibles, sur une image suffisamment grande. Ainsi, Janssen va travailler sur plusieurs points :

- Achromatisme de l'objectif de la lunette. Janssen s'est pour cela joint les services de l'opticien Prazmowski, avec qui il avait commencé ce travail à l'occasion du passage de Vénus. Prazmowski, en lien avec les recherches spectroscopiques de Janssen sur le maximum de sensibilité de la couche sensible mise au point (raie G), construit

[392] *AN*, F17 3745. Véron rapporte l'orthographe Esmonot.
[393] Esmonnet Pasteur et Sardnal, rémunérés respectivement 2 400 F, 2 400 F et 2 000 F
[394] JANSSEN, J., «La Photographie Céleste», Conférence faite à Toulouse au Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences le 23 septembre 1887, paru dans *Revue Scientifique*, 14 janvier 1888, p.33.

notamment une lunette de 5 pouces (0,135 m de diamètre) qui donnera des images du Soleil de 30 cm de diamètre[395].

- Finesse de la couche sensible. Avec l'aide d'Arents, Janssen met au point une couche sensible très fine permettant la reproduction de fins détails de l'image solaire.
- Dosage de l'action lumineuse. Ceci sera réalisé à l'aide de ce que Janssen appellera une « trappe photographique », procédé permettant de contrôler au maximum l'accélération que les ressorts communiquent à la plaque mobile. Cet appareil sera fabriqué d'abord par Prazmowski, puis par Gautier.

Fig. 2.2.1 : Constitution de la couche sensible mise au point par Janssen et trappe photographique.

Source : ***Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon (Seine-et-Oise),*** **Gauthier-Villars, Paris, 1896**

Si le Soleil est l'objet privilégié d'études à Meudon, Janssen vise également la performance technique en réalisant des photographies de la Lune et de la comète b 1881. L'objectif n'est pas réellement basé sur un programme d'étude strictement établi comme le feront bientôt Puiseux et Loewy à l'OP lorsqu'ils construiront leur atlas photographique de la Lune, mais plutôt la prouesse technique : c'est la lumière cendrée de la Lune qui est photographiée, ce qui soulève la grande difficulté de faire apparaître deux parties d'éclats très différents, tandis que la comète de 1881 est photographiée en entier pour les mêmes raisons que précédemment. Stanislas Meunier écrira ainsi dans *La Nature :* « M. Janssen a préparé des plaques tellement sensibles qu'il est arrivé à photographier la lumière cendrée de la lune, c'est-à-dire la lumière solaire après deux réflexions, l'une sur la terre, l'autre sur la lune ; une des grandes difficultés de l'opération était de tenir compte d'une manière rigoureuse des mouvements de la lune, ce qui a été fait avec une telle précision que les bords éclairés sont d'une netteté parfaite. Le but est une mesure photométrique »[396].

[395] Janssen achète cet objectif 990 F, ce qui représente plus d'un mois de salaire du directeur de l'observatoire de Meudon (10 000 F), *AN*, F17 3746.
[396] MEUNIER, S., « Photographies lunaires », *La Nature*, 1881, p.240.

<u>Fig. 2.2.2</u> : Photographies de la Lune et de la comète b 1881 par Janssen.
<u>Source :</u> JANSSEN, J., *Oeuvres Scientifiques,* recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1930, t.2.

Ainsi apparaît la fonction que Janssen donne à l'image : outre son intérêt scientifique, l'image photographique est un moyen de diffusion puissant, un outil de persuasion, un vecteur « publicitaire » qui le fait connaître et lui permet d'asseoir sa légitimité, voire de construire sa légende. Ainsi, Huggins d'écrire à Janssen dès 1878 :

> Vous montez de plus en plus !
> Vos découvertes solaires sont maintenant surpassées par celles de la Lune (au moins si je ne me trompe pas).
> Partout en Angleterre sont répandues des cartes comme celles-ci qui vous représentent (car c'est bien <u>vous</u> n'est-ce pas ?) dans le fait même de voir de belles choses dans la lune. Vous n'avez pas besoin comme Jules Verne de faire voyage à notre satellite, vous voyez et entendez tout de votre observatoire à Meudon. Il n'y a pas de place pour douter si c'est bien vous, car je vois sur la carte comme témoin le nom de votre ami <u>De la Rue</u> ![…][397]

Janssen connaît l'importance des photographies cartes qu'il distribue en Angleterre, ou en France auprès des hommes politiques. Si les *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon* ne paraissent qu'en 1896, Janssen, dès 1881, fait tirer chez Lemercier « 5 000 épreuves de l'éclipse grande carte album », « 2 400 épreuves comète de 1881 grande carte album 288 F », « 250 épreuves comète de 1881 carte de visite 18,75 F »[398].
La photographie s'immisce ainsi dans l'ensemble de la démarche expérimentale de Janssen. En 1881, il met par exemple au point une méthode de photométrie basée sur la photographie[399], ce qui diffère notablement des procédés proposés, au même moment, par Cornu ou Gouy comme nous le verrons plus loin. Son « photomètre photographique » consiste en un « châssis pouvant recevoir une plaque sensible devant laquelle un mécanisme fait passer, d'un mouvement uniforme et mesuré, un obturateur percé d'une fenêtre, qui règle l'action lumineuse sur la plaque, et dont la forme est variable avec les effets qu'on veut

---

[397] *Lettre de Huggins à Janssen*, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4136, n°323.
[398] *AN*, F17 3746.
[399] JANSSEN, J., « Sur les photographies des nébuleuses », *CRAS*, 1881, t.92, p.261-265 ; « Sur la photométrie photographique et son application à l'étude des pouvoirs rayonnants comparés du Soleil et des étoiles. », *CRAS*, 1881, t.92, p.821-825.

obtenir »[400]. Le principe de la mesure est fondé sur le plus ou moins degré d'opacité du dépôt métallique formé suite à l'action de la lumière sur le support photosensible. Par la suite intervient la durée de l'action lumineuse : « Quand deux sources d'inégale intensité ont accompli sur la même plaque un travail photographique égal, leurs intensités sont dans le rapport inverse des temps qu'elles ont respectivement employés »[401]. Janssen envisage ainsi d'appliquer son appareil pour mesurer les rapports de sensibilité de deux plaques photographiques d'origine différente, ou pour chercher le rapport des intensités photogéniques de deux sources différentes. Mais c'est son application à l'astronomie qui semble l'intéresser, à savoir l'étude des radiations comparées du Soleil et des étoiles : « La comparaison de la puissance du rayonnement photographique d'une étoile et du Soleil peut être obtenue directement, sans intermédiaire »[402]. Il s'agit d'obtenir d'un côté des échelles solaires, c'est-à-dire des plaques photographiques présentant des échelles de teinte obtenues dans des conditions différentes selon la nature de la couche sensible, le temps d'action solaire, la hauteur du Soleil, … Puis d'obtenir des « termes analogues » pour les étoiles. Ici, Janssen utilise un mode opératoire nouveau permettant de pallier la ponctualité des images stellaires : défocaliser l'image de l'étoile de façon à obtenir un « cercle stellaire ».

> Le faisceau conique donné par la lumière de l'étoile est coupé par un plan perpendiculaire à son axe et donne un cercle. Si la lunette ou le télescope est très bon, ce cercle est uniformément éclairé dans toute sa surface, et l'image photographique présente une teinte uniforme qui se prête très bien aux comparaisons photométriques. […] La série des cercles d'une étoile est alors comparée aux échelles fournies par le Soleil, et chaque cercle pour lequel on trouve une teinte égale dans les échelles fournit les éléments du rapport des intensités photographiques des deux astres.[403]

Si Janssen déclare que « Sirius, la Chèvre, Arcturus, etc., ont été l'objet des premières études » (car l'on connaît à cette époque leurs parallaxes, donc la distance qui nous en sépare), et qu'il communiquera les résultats ultérieurement, il ne semble réaliser aucune étude photométrique suivie et prolongée. Pourtant, sa méthode de photométrie photographique à partir d'images extra-focales sera très utilisée par la suite. Karl Schwarschild, travaillant alors à l'observatoire Kuffner à Vienne, en Autriche, appliquera le principe imaginé par Janssen à l'aide d'une lunette photographique de 6 pouces et mettra en évidence des écarts à la loi de réciprocité photographique alors adoptée : le noircissement des plaques photographiques n'est

---

[400] *Ibid.*, p.822.
[401] *Ibid.*, p.823.
[402] *Ibid.*, p.824.
[403] *Ibid.*, p.825.

pas décrit par une loi de type I.t (où I est l'intensité de la source lumineuse et t le temps d'exposition) mais par une loi de type $I.t^p$, p étant trouvé égal à 0,85 environ par Schwarschild[404]. Parkhurst et Schwarschild utiliseront tous deux un microphotomètre d'Hartmann, dont le principe de base est le même que celui du photomètre photographique de Janssen dix-huit ans auparavant : « Le seul principe à la base d'une méthode de photométrie photographique, dégagée de toute hypothèse inutile, est celui-ci : deux sources de lumière ont la même intensité photographique quand elles produisent le même noircissement de deux plaques identiques dans le même temps d'exposition ».[405,406]

Fig. 2.2.3: Images extra-focales des Pléïades, par John Parkhurst.
Source: HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge University Press, Cambridge, 1996, p.155.

Enfin, on peut également citer en France les travaux photométriques de Charles Fabry qui plus tard, vers 1910, propose une méthode permettant d'obtenir des cercles stellaires réellement uniformes en terme d'opacité, ce qui constituait jusque là un point faible de ces images extra-focales. Son procédé consiste en un objectif télescopique de 5cm de diamètre et 48cm de distance focale, projetant une image sur un diaphragme suivi d'une lentille de courte focale située juste derrière le plan focal de l'objectif télescopique. L'image est ensuite projetée sur une plaque photographique : « Quelle que soit l'ouverture du diaphragme, et quelle que soit la distribution des étoiles dans la région que l'on observe, on obtient sur la plaque photographique une image, uniformément éclairée, de l'objectif télescopique, image qui est un cercle de 3mm de diamètre. »[407] Et Fabry d'ajouter les perspectives que sa méthode apporte dans le domaine de l'astronomie : « La méthode que je viens de décrire pourrait peut-être rendre des services dans la comparaison photographique des étoiles. En projetant, comme

---

[404] En 1901, celui-ci devient directeur de l'observatoire de Göttingen, et va aboutir, à l'aide d'une chambre photographique spéciale (« jiggle camera »), au Göttinger Aktinometrie, un catalogue de magnitudes photographiques comprenant 3522 étoiles. De la même façon, John Parkhurst, de l'observatoire Yerkes aux Etats-Unis, arrivera au début du XX^{ème} siècle, en appliquant la méthode des images extra-focales, à un catalogue de 630 étoiles, le Yerkes Actinometry.

[405] PARKHURST, John, « Apparatus and method for the photographic measurement of the brightness of surfaces », *ApJ.*, 1899, vol.10, p.322.

[406] Sean F. Johnston écrit pour sa part que ces photomètres, appelés aussi densitomètres ou opacimètres car ils mesurent le degré d'opacité de la couche sensible, sont à l'origine des mesures photoélectriques à l'aide de tubes à vide. Voir *Instruments of Science : an Historical Encyclopedia*, BUD, Robert, WARNER, Deborah Jean (dir.), Garland Pub, New-York, 1998, p.458.

[407] FABRY, Charles, « La brillance du ciel nocturne ». Article paru dans l'*ApJ.* 1910, t.31, reproduit in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.501.

je le fais, une image de l'objectif du télescope sur la plaque photographique, on obtient un cercle dont l'éclairement est parfaitement uniforme, ce qui ne paraît pas être toujours le cas dans les images extra-focales des étoiles. »[408,409]

Membre de la Société Française de Photographie dès 1876, puis président d'honneur entre 1891 et 1893, puis entre 1900 et 1902[410], Janssen est suffisamment perméable à l'innovation pour appliquer très vite le procédé au gélatino-bromure d'argent mis au point par Maddox en 1871 et complété par Eastman en 1879 avec la construction de la première machine à émulsionner les plaques photographiques[411] : les photographies lunaire et cométaire qu'il réalise en 1881 sont réalisées à l'aide de ce procédé. Cette nouveauté lui permet de photographier, comme nous l'avons vu, des objets célestes possédant de grandes différences d'intensité lumineuse selon leur éclat : noyau et queue d'une comète, lumière cendrée de la Lune, nébuleuse d'Orion. En mêlant photométrie et photographie, Janssen réalise d'incessants allers-retours entre science et technique : lorsqu'il ambitionne de photographier la nébuleuse d'Orion, il en vient à réaliser la nécessité d'enregistrer des témoins photométriques qui permettront aux générations futures de contrôler et d'exploiter ses photographies en fonction des paramètres en jeu (nature, épaisseur de la surface sensible, télescope employé…), et met au point sa méthode de photométrie photographique. Il réutilise alors cette méthode sur d'autres objets célestes pour en tirer certaines caractéristiques physiques :

> L'image photographique du 30 juin montre que la queue de la comète vers 1° du noyau envoie une radiation photographique qui est environ trois cent mille fois plus faible que celle de la pleine Lune. A une distance double, ce rapport tombe à plus d'un million. Le noyau de la Comète, le 30 juin, a été comparé à l'aide des cercles stellaires, à l'étoile ε grande Ourse qui avait à peu près la même hauteur. Ce noyau a été également comparé à l'étoile ζ de la grande Ourse. Il ressort de ces comparaisons, que la lumière de la tête de la comète devait contenir de la lumière réfléchie. Les rapports ont été trouvés décroissant plus rapidement que ne le comportait l'augmentation de la distance à la Terre.[412]

---

[408] *Ibid.*, p.505.

[409] Sur la photométrie stellaire par images extra-focales, voir : HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge University Press, Cambridge, 1996, p.148-160 ; BOSLER, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.66-72.

[410] On trouve sur le site internet de la Société Française de Photographie la liste de ses membres depuis ses débuts : http://www.sfp.photographie.com/asso/asso-index.htm

[411] Voir : VAUCOULEURS, Gérard, *La Photographie Astronomique, du daguerréotype au télescope électronique*, Paris, Albin Michel, 1959.

[412] JANSSEN, Jules, « Photographie de la comète 1881 III », *Société Internationale d'Astronomie*, Séance du 24 septembre 1881, reproduit in JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.1, p.445-446.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Chez Janssen, l'image est donc, et un moyen, et un but.

Les photographies solaires qu'il obtient et cherche les plus grandes possibles l'amènent ainsi à des conclusions sur la nature de l'astre :

> Quand on satisfait exactement à ces conditions impérieuses de succès, on obtient alors des images de la surface solaire qui nous révèlent la véritable constitution de ses éléments. […] Cette surface est couverte d'une granulation dont les formes, les dimensions ne sont pas en accord avec les idées qu'on avait émises sur elle. Les images photographiques ne confirment nullement l'idée que la photosphère soit formée d'éléments dont les formes rappelleraient celles des feuilles de saule, grains de riz[413], etc.. […] Les images photographiques nous conduisent à des idées beaucoup plus simples et plus rationnelles sur la constitution de la photosphère. Elles nous conduisent à admettre que les éléments granulaires sont engendrés par des corps très analogues à nos nuages atmosphériques, et que, comme eux, ils flottent dans un milieu moins dense. Ces nuages par eux-mêmes tendent à prendre la forme sphérique, laquelle se remarque dans les éléments les plus petits ; mais l'action de courants gazeux les déforme plus ou moins.[…]
>
> Ces photographies ont fait faire immédiatement une découverte importante. C'est que la surface solaire est divisée en une sorte de réseau polygonal, dessiné par les formes très différentes de la granulation.[…] Ce réseau montre que les points où les éruptions gazeuses se produisent à la surface de l'astre forment un ensemble géométrique. […]
>
> Le nombre de ces éléments granulaires sur une photographie solaire est si prodigieux qu'il faudrait à un dessinateur habile plusieurs années pour nous en donner un dessin qui, malgré tout le soin possible, n'aurait ni l'exactitude ni l'authenticité d'une reproduction photographique prise en un tiers de millième de seconde.[414]

<u>Fig. 2.2.4</u>: Image de la surface solaire, par Janssen.

<u>Source:</u> ***Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon (Seine-et-Oise),*** **Gauthier-Villars, Paris, 1896[415]**

---

[413] A propos de la controverse au sujet de l'existence ou non de ces apparences de la photosphère solaire nommées feuilles de saule, controverse qui a agité le milieu scientifique anglais dans les années 1860, voir : BARTHOLOMEU, C.-F., « The discovery of the Solar Granulation », *Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 1976, vol.17, p.263-289. Bartholomeu remarque dans son article comment la maturité technique de la photographie, notamment chez Janssen, a joué un rôle dans la résolution de cette controverse. Il note aussi la tension entre photographie et dessin, dans l'objectivité scientifique qu'elles permettent. La citation à venir de Janssen (note 46) au sujet de la supériorité de la photographie sur le dessin est proche de celle de son ami Warren de la Rue rapportée dans l'article de Bartholomeu : « I thought that Mr. Nasmyth's artistic skill had too markedly outlined the peculiar kind of phenomenon he was desirous of calling attention to. »

[414] JANSSEN, J., « La photographie céleste », *Revue Scientifique*, 14 janvier 1888. Reproduit in JANSSEN, Jules, *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.2, p.40-41.

[415] En dehors de la granulation observable à la surface du Soleil, Janssen a également défendu l'existence d'un réseau photosphérique. L'image était ici trompeuse : les apparences observées par Janssen étaient en réalité provoquées par les inhomogénéités de l'atmosphère terrestre. Voir à ce sujet : LAUNAY, Françoise, « Jules Janssen et la photographie », in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p. 25 et p.127.

La mise en évidence des mouvements de l'atmosphère solaire conduisent Janssen à promouvoir son revolver photographique, mis au point à l'occasion du Passage de Vénus en 1874, pour une utilisation dynamique, c'est-à-dire permettant la visualisation de ces mouvements dans le temps. Janssen va en effet essayer de trouver des applications à son appareil : photographies des phases successives des éclipses totales et partielles, photographies des passages méridiens, applications à des « questions intéressantes de mécanique physiologique se rapportant à la marche, au vol, aux divers mouvements des animaux »[416], découverte d'hypothétiques corps intra-mercuriels[417]. L'utilisation du revolver photographique dans un programme de visualisation des mouvements de l'atmosphère solaire est donc une démarche évidente pour Janssen :

> Parmi les questions nouvelles que cette méthode [la photographie] permet d'aborder, celle qui se rapporte aux mouvements dont la matière photosphérique est animée est l'une des plus importantes. […] Pour cette recherche, le passage du revolver est tout indiqué. L'instrument donne, en effet, à des intervalles connus et aussi courts qu'il est nécessaire, des images d'une région déterminée. Un réticule placé devant la plaque photographique, mais rendu solidaire avec la lunette et entraîné avec elle et de manière à suivre rigoureusement le mouvement du Soleil, fournit des repères auxquels on rapporte les mouvements décelés par les images successives.[418]

Finalement, dans toutes les directions possibles, Janssen cherchera à développer la technique photographique tant il est convaincu de son efficacité, de sa supériorité sur le dessin, de sa capacité à produire des données scientifiques nouvelles : en bref, la photographie peut être, et une technique artistique, et un procédé scientifique. Les appels de Janssen dans ce but sont très nombreux, lui qui a l'art des formules : « la pellicule sensible photographique est la vraie

---

[416] JANSSEN, J., « Présentation du revolver photographique et épreuves obtenues avec cet instrument », *Bulletin de la Société Française de Photographie*, avril 1876. Lorsqu'Etienne-Jules Marey mettra au point son fusil photographique pour photographier effectivement le mouvement des animaux, Janssen s'empressera de réclamer la paternité de l'idée dans une note parue dans les CRAS, en citant in extenso l'extrait que nous avons reproduit. Voir « Note sur le principe d'un nouveau revolver photographique », *CRAS*, 1882, t.94, p.909-911.

[417] Si Janssen écrit dès 1877 que « l'intervention du revolver photographique me paraît nécessairement indiquée pour donner une solution pratique de la question », il n'utilise pas son appareil en 1883 lors de l'éclipse qu'il observe en Océanie alors que Palisa et Trouvelot étaient chargés d'observations visant la recherche de corps intra-mercuriels. On rappelle que les corps intra-mercuriels sont des astres que l'on supposait pouvoir orbiter entre Mercure et le Soleil. Le Verrier nomma ainsi Vulcain une hypothétique planète sensée expliquer des anomalies dans l'orbite de Mercure.

[418] JANSSEN, J., « Note sur divers points de physique céleste », *CRAS*, 1883, t.96, p.528.

rétine du savant »,[419] « La photographie est destinée à devenir la grande collaboratrice de toutes les observations scientifiques».[420] Et dans ce but, il saura flatter l'orgueil national en stigmatisant l'origine française de la photographie, le rôle d'Arago dans la divulgation désintéressée du procédé, et en participant, notamment à l'occasion d'un cinquantenaire de la divulgation destiné à asseoir la légitimité du procédé, à fonder le mythe d'une discipline ayant réussi à braver les résistances et à imposer un auxiliaire de la science dont l'objectivité et la véracité ne peuvent plus être remis en cause :

> Quant à moi, j'ai connu ces difficultés, je me suis trouvé aux prises avec ces préjugés, et il m'a fallu un certain courage pour persévérer. […] J'ai donc lutté contre le préjugé singulier qui régnait encore parmi les savants. Mais il m'a fallu le sentiment de la grandeur du service à rendre à une science que j'aime passionnément, et ma foi dans l'avenir pour persévérer. […] Et quand mes études me démontraient qu'on pouvait obtenir, en un instant presque indivisible, une image du Soleil contenant des détails jusqu'alors inconnus, d'une délicatesse et d'une fidélité à défier tout l'art et toute la patience d'un dessinateur, comment résister à la tentation de doter la Science de pareils documents, et de commencer pour l'avenir ces annales du Soleil qui seront le point de départ et l'origine des annales physiques de l'Univers ?
>
> Les hommes de Science ont enfin compris que la Photographie est leur plus sûr auxiliaire […] Oui, Messieurs, elle est la véritable rétine scientifique, car elle possède toutes les propriétés que la Science peut désirer : elle garde fidèlement les images qui viennent s'y peindre, et au besoin elle les reproduit et les multiplie indéfiniment […]
>
> En un mot, la Photographie est à la vue ce que l'écriture est à la pensée.[…][421]

2.2.3 Meudon, entre voyages et sédentarité.

L'observatoire d'astronomie physique que Janssen créé s'inscrit de toute évidence dans un projet d'imagerie photographique. Nous avons vu que Janssen choisit des artistes photographes plus que des astronomes pour concrétiser ses recherches. Il est, jusqu'en 1882, le seul astronome physicien français officiellement installé dans un observatoire en cours de construction. A cette date, Janssen va reprendre ses études spectroscopiques plus ou moins en

---

[419] JANSSEN, J., «Discours Prononcé au Banquet Annuel de la Société Française de Photographie», *Bulletin de la Société Française de Photographie*, juin 1888

[420] JANSSEN, J., «La Photographie Céleste», *op.cit.*

[421] JANSSEN, J., « En l'honneur de la Photographie. Discours prononcé au Banquet Annuel de la Société Française de Photographie, juin 1888 », *Bulletin de la Société Française de Photographie*, juin 1888. Reproduit in JANSSEN, J., *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.2, p.86-90.

attente depuis le passage de Vénus, s'étant attaché à développer la photographie. A l'occasion d'une note dans les CRAS le 13 novembre 1882, Janssen expose la priorité et l'originalité de ses recherches sur le spectre solaire face à la concurrence que représentent les nouvelles expériences menées par Alfred Cornu sur le même sujet[422] :

> Notre savant confrère, M. Cornu, a fait dans la dernière séance une très importante Communication sur les raies telluriques du spectre solaire. M. Cornu se propose d'asseoir, sur la comparaison des raies telluriques d'intensité variable avec les raies constantes du spectre solaire, une méthode pour estimer des rapports dans l'état hygrométrique de l'atmosphère. Il est très naturel qu'à cette occasion je rappelle que je me suis donné le même but, mais par un moyen différent. La méthode que j'ai proposée est basée sur l'étude du spectre de la vapeur d'eau, obtenu avec un tube plein de cette vapeur. […]
>
> Mais, avant d'entrer dans plus de détails sur l'emploi du spectre de la vapeur d'eau, je voudrais que M. Cornu me permit d'ajouter quelques éclaircissements à l'historique qu'il donne dans sa Note. Le point a trait à la dénomination des raies *telluriques* que j'ai proposée à la suite de mon travail de 1862-63. […]
>
> Je sais que notre confrère connaît parfaitement ces faits ; aussi ma remarque n'est-elle faite ici que pour dégager la généralité des lecteurs, et un peu aussi pour dégager ma responsabilité de *parrain*.[423]

Suite aux échanges de notes que nous avons déjà évoquées concernant le passage de Vénus, ce nouveau point de contact entre Janssen et Cornu illustre à nouveau l'importance que Janssen attache à se montrer le *parrain* d'un certain nombre de méthodes, en fait le *parrain* d'une nouvelle discipline, d'un nouveau champ du savoir.

Au début des années 1880, Janssen reprend donc son programme de spectroscopie comme le montrent clairement les articles qu'il écrit à cette époque, ainsi que les factures de l'observatoire de Meudon conservées aux AN :

Fig. 2.2.5: Factures de l'observatoire de Meudon
Source: AN, F17 3748

L'objectif recherché par Janssen est, à la suite de ses travaux durant la décennie 1860, de faire la part des éléments de l'atmosphère terrestre dans le spectre solaire : vapeur d'eau et oxygène notamment. Par la suite, la connaissance exacte des spectres de ces composés selon différentes conditions de température et de pression doivent permettre de révéler leur présence

[422] Nous détaillons dans le chapitre 2.3 les travaux de Cornu ainsi que ceux de Nicolas Egoroff en spectroscopie à l'OP à la même époque.
[423] JANSSEN, J., « Note sur les raies telluriques et le spectre de la vapeur d'eau », *CRAS*, 1882, t.95, p.885-890.

dans les étoiles ou les atmosphères planétaires, et, au delà, de participer à la recherche de la vie dans l'Univers.

Dans ce but, Janssen installe dans les anciennes écuries du château de Meudon des tubes pouvant atteindre des longueurs de 60m et supportant de très fortes pressions (supérieures à 1500 atm.), ainsi que des sources de lumière puissantes de façon à réaliser l'analyse spectrale des gaz étudiés.

Fig. 2.2.6: Grand laboratoire d'analyse spectrale. Côté des analyses

Source: JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome premier, Gauthier-Villars, Paris, 1896, pl.VIII

Fig. 2.2.7: Appareils spectroscopiques de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon.

Source: JANSSEN, J., « Sur les spectres de l'oxygène aux hautes températures », *La Nature*, 19 mai 1894, n°1094, p385.

En premier lieu, Janssen va s'attacher à vérifier si les groupes A, B et α du spectre solaire appartiennent effectivement à l'oxygène, comme semble le trouver Nicolas Egoroff, à l'OP. Il fait varier les conditions d'apparition des différentes raies en fonction de la pression de l'oxygène enfermé dans le tube et arrive à la conclusion que « ces groupes se développent naturellement en intensité avec la pression »[424]. Mais le fait le plus étonnant est l'apparition d'un autre système de bandes, obscures, estompées et difficiles à séparer, apparaissant à partir de 6 atm: ceci constitue un fait totalement nouveau. Il décrit ainsi ces bandes :

> La première se montre près de D du côté du violet.
> Une seconde entre C et D.
> Une troisième près de F du côté du violet.
> On peut en développer d'autres par l'augmentation de pression, mais nous considérerons seulement ces trois bandes d'absorption pour le moment. Voici la position de ces bandes (il faut remarquer qu'elles

[424] JANSSEN, J., *Report of the British Association for the Advancement of Science*, Bath, septembre 1888, p.547.

augmentent de largeur et d'intensité avec la pression et l'épaisseur du gaz traversé, suivant la loi générale de ces phénomènes)

Bande du rouge, 0 μ 632 à 0 μ 622

Bande du jaune près de D, 0 μ 580 à 0 μ 572

Bande du bleu près de F, 0 μ 482 à 0 μ 478[425]

Sur le plan technique, Janssen va s'assurer que son dispositif ne présente pas de défaut. Tout d'abord, il vérifie que des éléments autres que l'oxygène ne sont pas présents dans le tube: ceci peut arriver soit dans la phase de compression du gaz, soit dans sa préparation (il produit alors l'oxygène de différentes façons pour s'assurer de la reproductibilité des résultats : « par le chlorate de potasse, en purifiant et desséchant avec soin le gaz produit; par l'oxyde de mercure; par l'eau oxygénée, etc... »[426]). Il s'assure également de l'absence de carbures d'hydrogène, en faisant passer l'oxygène, au sortir de la pompe et avant son entrée dans le tube, dans une couronne formée par un tube capillaire de cuivre rouge, laquelle était portée au rouge vif. Cependant, un problème apparaît: Janssen sait que l'oxygène contenu dans l'atmosphère terrestre, représentant 20 % environ de cette atmosphère, équivaut à une couche gazeuse de 1500m environ sous 1 atm, soit 250m sous 6atm. Au laboratoire, les bandes sont visibles pour une épaisseur de 60m sous 6atm: pourquoi alors n'observe-t-on pas ces bandes dans le spectre solaire ? Pour répondre à la question , Janssen institue une série d'expériences, à l'aide de tubes de différentes longueurs qui le conduisent à une loi d'apparition des bandes qui n'est pas proportionnelle au produit de l'épaisseur du gaz par sa densité (ou pression) : « On voit de suite que ce doit être une puissance n de la densité supérieure à la première qui doit permettre de représenter le phénomène ».[427] Pour trouver cette puissance n, Janssen fait un calcul préalable. Il appelle F la force d'absorption, qu'il exprime: $F = e\delta^n$, où e et δ sont respectivement l'épaisseur et la densité du gaz. Pour deux expériences différentes:

$$\log e' + n \log\delta' = \log e'' + n \log\delta''$$

$$\text{d'où } n = \frac{\log e'' - \log e'}{\log \delta' - \log \delta''}$$

Avec les valeurs trouvées: $n = \frac{\log 60 - \log 0.42}{\log 72 - \log 6} = 2.008$ (valeur obtenue par Janssen, valeur moderne: 1.997), soit n = 2.

---

[425] *Ibid*.
[426] *Ibid*.
[427] *Ibid*.

Janssen va par la suite essayer de confronter ses valeurs expérimentales avec n = 1.9 et n =2.1 et conclut : « C'est donc bien la formule $e\delta^2$ qui représente le phénomène, c'est-à-dire que l'action du gaz oxygène pour les bandes (nous avons donné les nombres pour la bande près de D, mais les autres bandes étudiées conduisent à la même loi) est, pour une même épaisseur, proportionnelle au carré de la densité. »[428]

La démarche de Janssen est ici nouvelle: c'est la première et la seule fois, à notre connaissance, que Janssen réalise des calculs lors d'études spectroscopiques, et s'en sert pour en induire une loi empirique. En guise d'application, il justifie l'absence de ces bandes dans le spectre solaire: le tube de 60m où les bandes de l'oxygène sont naissantes équivaut à une colonne de 2160 m d'oxygène sous la pression atmosphérique normale, tandis que l'action de l'atmosphère sur un faisceau qui la traverse normalement équivaut à celle d'une colonne d'oxygène de 172 m sous la même pression. L'action de l'atmosphère est donc 12 fois plus faible que nécessaire pour voir ce système de bandes (qui n'exclut pas la présence des raies fines dont l'apparition est proportionnelle à la densité), sauf si l'on observe l'atmosphère avec une lumière rasante de façon à augmenter l'épaisseur traversée par les rayons solaires, événement qui se produit au lever ou au coucher du Soleil (l'épaisseur d'atmosphère traversée est alors 15 fois plus importante). Pour confirmer et appliquer sa loi nouvellement découverte, Janssen va allier expériences de laboratoires et observations sur le terrain: il va expérimenter à Meudon, observer au du Pic du midi, et enfin au sommet du Mont-Blanc.

C'est tout d'abord à l'automne 1887 que Janssen se rend au Pic du Midi où la haute station de l'observatoire lui permet d'observer dans le spectre solaire les bandes qu'il a isolées au laboratoire, mais qui ne sont pas observables à basse altitude. Il s'aide également de la photographie pour mesurer l'intensité de ces bandes, puis les comparer à celles obtenues à Meudon: il vérifie à nouveau sa loi du « carré de la densité ».

En octobre 1888, il réitère ses observations à la station des Grands Mulets, sur le massif du Mont Blanc. A l'aide d'un spectroscope à plusieurs prismes, il observe à nouveau les bandes de l'oxygène: à 3000 m d'altitude, le climat est suffisamment sec pour qu'elles ne soient pas confondues avec les raies de la vapeur d'eau. Janssen observe alors une diminution de ces bandes, voire une disparition pour certaines d'entre elles. Il peut alors écrire:

> L'oxygène qui existerait dans les couches profondes situées au-dessous de la photosphère et des taches ne donnerait pas de manifestations accessibles à nos méthodes actuelles d'analyse spectrale. Ajoutons

[428] *Ibid*.

même, en présence des spectres multiples de ce gaz et des propriétés moléculaires si singulières qu'il présente, que nous ne savons pas si de grandes variations de températures n'amèneraient pas des changements complets dans les manifestations spectrales de ce corps.

Ce que nous pouvons dire, c'est que l'oxygène n'existe pas dans l'atmosphère solaire où il produirait les manifestations spectrales qu'il nous donne dans l'atmosphère terrestre.

C'est une étape de l'histoire de l'oxygène dans ses rapports avec le Soleil. C'est une première base sur laquelle la Science pourra s'appuyer pour conduire plus loin ses investigations.[429]

Persuadé depuis longtemps de l'importance des stations d'altitude pour la nouvelle astronomie, Janssen envisage donc la construction d'un observatoire d'altitude au sommet du Mont-Blanc. En 1888, nous l'avons vu, il atteint grâce à une chaise à porteurs le refuge des Grands-Mulets situé à 3000 m d'altitude. Son expédition est véritablement épique et constitue un véritable exploit pour un homme âgé de 70 ans, boiteux de surcroît.

Aidé de la photographie pour l'acquisition des spectres, Janssen s'installe ensuite en Algérie en 1890 (il y reviendra en 1895) , à l'entrée du désert (station de Biskra et dans le Sahara) , pour reprendre et compléter ces expériences: « Le climat saharien est, en effet, précieux pour ce genre d'études: d'une part en raison de la sécheresse extrême de son atmosphère, qui permet de faire un départ très net entre les raies d'origine aqueuse et celles de l'oxygène et des autres gaz atmosphériques, et surtout en raison de ce fait remarquable que, dans les régions sahariennes, le Soleil se lève presque toujours dégagé de vapeurs et avec un éclat qui se prête merveilleusement aux observations et aux mesures. »[430] Là encore, Janssen confirme l'origine oxygénée des bandes qu'il a repérées, ainsi que sa loi du carré.

Toujours en 1890, il désire grimper encore plus haut pour compléter ses études. Après avoir réussi à convaincre vingt-deux guides ou porteurs, Janssen atteint la station des Grands-Mulets, où il compte déjà bâtir un lieu d'observation: « La Station des Grands-Mulets aura bientôt un chalet-observatoire, élevé à ma demande par le Club-Alpin français»[431].

Puis, à l'aide d'un traîneau cette fois (« Je suis le premier, je crois, qui soit parvenu au sommet du Mont-Blanc sans avoir eu à faire aucun effort corporel. »[432]), il atteint le sommet même du Mont-Blanc. A l'aide du même spectroscope à prismes utilisé en 1888 et d'un spectroscope à réseau de Rowland, (le spectroscope à prismes permettant de juger le phénomène dans son

---

[429] JANSSEN, Jules, « Sur le spectre tellurique dans les hautes stations, et en particulier sur le spectre de l'oxygène «, *CRAS*, 1888, t.107, p.677.
[430] JANSSEN, J., « Note sur la loi d'absorption des bandes du spectre de l'oxygène », *CRAS*, 1895, t.120, p.1307.
[431] JANSSEN, J., « Compte rendu d'une ascension scientifique au Mont Blanc », *CRAS*, 1890, t.111, p.432.
[432] *Ibid*. p.445.

ensemble, tandis que le spectroscope à réseau favorise une étude plus fine), montés sur une lunette de 0.75 m de foyer, il réalise alors des observations précises, complétant ses expériences dans le laboratoire de Meudon, faites à l'aide de la Tour Eiffel[433] ou aux Grands-Mulets. Car pour lui, ses observations dans les stations d'altitude ne valent que par les confirmations données par les expériences de laboratoire :

> Ce résultat est remarquable, mais je répète que, pour moi, c'est la comparaison avec les tubes, en se plaçant dans des conditions optiques aussi identiques que possibles, qui peut seule conduire à des conclusions certaines. Ces expériences ont déjà été commencées dans le laboratoire de l'observatoire de Meudon; elles conduisent au même résultat, à savoir la disparition des groupes A, B, α aux limites de l'atmosphère. Mais en raison de l'importance de la question, elles seront reprises encore et complétées.[434]

Il en déduit définitivement que l'oxygène est absent des enveloppes gazeuses qui surmontent la photosphère, « tout au moins de l'oxygène avec la constitution qui lui permet d'exercer sur la lumière les phénomènes d'absorption qu'il produit dans notre atmosphère et qui se traduisent dans le spectre solaire par les systèmes de raies et de bandes que nous connaissons. Je considère que c'est là une vérité qui est définitivement acquise ».[435]

Ce constat est pour Janssen primordial : si l'oxygène est absent, il ne peut former, avec de l'hydrogène, de l'eau, ce qui donnerait une indication de l'état d'évolution de notre astre du jour: « N'y a t il pas là encore une harmonie nouvelle reconnue dans cet ensemble déjà si admirable de dispositions, qui tendent à assurer à notre grand foyer central la plus longue durée possible à des fonctions d'où dépend la vie du système planétaire entier ? »[436]

Finalement, après ses deux succès, Janssen va commencer à tout mettre en œuvre pour construire, au sommet du Mont-Blanc, à plus de 4800 m d'altitude, un observatoire qui serait ouvert à un grand nombre de scientifiques: astronomes, biologistes, physiciens, géologues, etc.[437] Pour cela, il lui faut rassembler, ce qu'il fera grâce à la création d'une Société

---

[433] Janssen utilise en 1889 la lumière puissante de la nouvelle tour du Champ de mars construite par Eiffel. Cette tour étant située à 7700 m de l'observatoire de Meudon, l'occasion est idéale de recréer « grandeur nature » les raies de l'oxygène: cette distance correspond, selon Janssen, à l'épaisseur d'une atmosphère ayant même poids que l'atmosphère terrestre, ainsi qu'une densité uniforme et égale à celle de la couche atmosphérique voisine du sol. L'expérience n'apporte rien de nouveau, la lumière n'ayant pu être envoyée pendant un temps suffisamment long.

[434] *Ibid*.

[435] *Ibid*. p.444.

[436] *Ibid*. p.445.

[437] Sur l'observatoire du Mont Blanc, voir : TISSANDIER, Gaston, «L'Observatoire du Mont-Blanc», *La Nature*, 1893, 21e année, 2ème semestre, p.289-290 ; SCHRADER, F., « Au Mont Blanc », *Nouvelles géographiques*, n°5, 5 mai 1894, p.65-68 ; RADAU R., *op.cit.* ; VIVIAN, Robert, *L'épopée Vallot au Mont Blanc*, Denoël, Paris, 1986 ; MALHERBE, Jean-Marie, « Janssen et l'Observatoire Astronomique du Mont-Blanc », in *Un siècle*

comprenant Léon Say (président d'honneur), Bischoffsheim (secrétaire, et également fondateur de l'observatoire de Nice), Edouard Delessert (trésorier), le Prince Roland Bonaparte, le Baron de Rotschild, le Comte de Greffulhe, et également Gustave Eiffel, qui sera chargé de la construction de l'édifice. Après des sondages réalisés en août 1891 pour se rendre compte de l'épaisseur de la croûte de neige, puis le creusement de galeries pour protéger les travailleurs, Janssen peut faire commencer la construction. Mais auparavant, il a réalisé des expériences à Meudon pour tester la stabilité de la couche neigeuse: il recrée dans une cour de l'observatoire un monticule neigeux de la hauteur d'un étage, et à l'aide de disques de plomb de 35 cm de diamètre pesant chacun 30 kg, teste la pression que peut supporter cette neige tassée en évaluant l'empreinte de la colonne constituée au total de douze disques. A l'aide de ces tests, Janssen calcule que la résistance de la neige durcie au sommet pourra supporter une construction de 10m sur 5m pesant 187 tonnes. De façon à s'assurer de la solidité de son raisonnement, il a également fait placer un édicule plus petit, qui après quinze mois ne montra aucune trace de mobilité. Finalement, en 1892 commence la construction d'un édifice à deux étages, avec terrasse et balcon, de forme pyramidale et enfoui dans la neige durcie, situé à 300m du sommet.[438]

Une fois l'observatoire construit, les travaux scientifiques ont alors pu commencer. Ils ont été de différentes natures:

- Etudes des planètes Vénus et Mercure
- Spectre tellurique et spectre solaire normal (à l'aide du spectroscope de Duboscq et du réseau de Rowland sur la lunette de 0.75 m de foyer)
- Radiation calorifique des astres et mesure de la constante solaire
- Météorologie: étude des hautes régions de l'atmosphère (cf. fig. 49)
- Etudes de la faune et de la flore des montagnes
- Physiologie: étude de l'influence des atmosphères raréfiées, études spectroscopiques du sang.

Janssen travaillera jusqu'en 1897 au sommet du Mont-Blanc: il était alors âgé de 73 ans. Finalement, si cet observatoire a eu une vie très courte (pour un investissement humain et financier important), on peut dire avec Françoise Launay que « parfois, on évoque à son sujet

---

d'astronomie dans la revue L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), , Paris, Vuibert, mai 2003, p.440-443 ; MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.138-145.

[438] En outre, la construction repose sur des plans rigides, sur lesquels s'appuient des vérins, et offrant une résistance allant au-delà de 3000kg/m^2.

la construction de l' « éphémère observatoire du Mont-Blanc », mais c'est alors le plus souvent pour transformer en échec lamentable une extraordinaire entreprise d'un modernisme incontestable: l'établissement, pour un temps limité, d'un centre international de recherches pluridisciplinaires d'altitude. »[439]

Dernier volet de ces recherches sur l'oxygène: l'observation du spectre de l'oxygène à haute température, de façon à recréer des conditions qui pourraient se rapprocher de certaines parties de l'atmosphère solaire. Mais ici la difficulté est tout autre que pour les expériences précédentes: l'apparition des bandes nécessitant de fortes épaisseurs, porter le gaz à haute température se révèle délicat. Janssen pense d'abord à réduire l'épaisseur d'oxygène traversée et augmenter la pression, mais c'est la fermeture des joints, soumis à une forte augmentation de chaleur, qui est compromise. C'est alors qu'il a recours à l'électricité comme source de chaleur. Il ne cite pas quelle source d'électricité mais précise que le tube en acier de 2,20 m de longueur peut résister à des pressions allant jusqu'à 1000 atm. Il indique également que la source de lumière utilisée pour traverser le tube est soit la lumière de l'arc, soit la lumière Drummond, soit la lumière solaire. Il précise de plus que la température atteinte est de l'ordre de 800 à 900 °C. L'appréciation de la température s'est faite par divers moyens:

1. utilisation d'un couple thermoélectrique,
2. observation de l'augmentation de pression du gaz provoquée par le passage du courant,
3. vivacité et étendue du spectre données par la spirale incandescente quand celle-ci fournit seule la lumière à l'appareil spectral.

Janssen tente donc lors de ces expériences de recréer la température supposée exister dans certaines parties de la couronne solaire (parties extérieures et moyennes de « l'atmosphère coronale ») : à l'aide de son dispositif, Janssen est ainsi en mesure d'affirmer l'absence d'oxygène dans ces zones[440].

Finalement, les travaux de Janssen sont un incessant aller-retour d'observations et d'expérimentations, les unes suscitant les autres et vice-versa. L'observatoire de Meudon permet ainsi de confirmer systématiquement les analyses spectrales effectuées soit en haute

---

[439] LAUNAY, Françoise, «Jules Janssen et la photographie», in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22.

[440] On sait aujourd'hui que la couronne solaire est le siège de températures beaucoup plus grandes que la surface du Soleil, soit de l'ordre de 2 millions de degrés, soit beaucoup plus que les températures nommées par Janssen.

montagne, où le climat est sec, donc dénué de lignes spectrales liées à la vapeur d'eau, soit dans le désert algérien, où le Soleil au lever ou au coucher (4° au-dessus de l'horizon au maximum pour commencer à voir apparaître les bandes de l'oxygène) assure un ciel d'une grande pureté. Janssen montre ainsi sa vision de l'AP : nécessité d'observatoires d'altitude, importance des liens entre laboratoire et observatoire. Et il impose à la discipline un équilibre entre voyage et sédentarité, montrant l'articulation nécessaire entre observatoire, laboratoire et pratique de terrain[441].

Ses voyages sont donc très fréquents (ses absences aussi) alors que l'observatoire de Meudon est encore en construction et n'emploie qu'un faible personnel. Non seulement, il se transporte au sommet des montagnes ou dans le désert algérien, mais continue à poursuivre les éclipses et autres événements astronomiques : en 1877, il est dans le sud de la France à observer le passage d'hypothétiques corps intra mercuriels ; en 1879, il observe avec Arents une éclipse de Soleil à l'observatoire de Marseille ; en 1882, il entreprend à Oran l'observation de l'atmosphère de Vénus lors du nouveau passage de cette planète devant le Soleil ; en 1883, il est en Océanie pour l'observation d'une importante éclipse de Soleil.
Pour faire connaître à l'étranger ses travaux, il participe ainsi souvent à des congrès, comme ceux de la BAAS par exemple, ce qui lui permet de diffuser ses méthodes. Il écrit notamment au Ministre de l'Instruction Publique en 1896 au sujet d'un de ses voyages:

> Quant à l'itinéraire il n'a pas été le même à l'aller qu'au retour parce qu'il y avait intérêt à ce que je passasse par Madrid afin de donner au Directeur de l'Observatoire les explications qu'il m'avait demandées pour l'établissement d'un service de photographie solaire que l'Observatoire de Madrid va organiser sur le modèle de Meudon.
>
> A Madagascar, le Directeur de l'Observatoire de Tananarive, Etablissement aujourd'hui détruit, voudrait instituer un service de Photographie solaire, auquel sa position dans l'hémisphère sud donnerait un grand intérêt. Je m'occuperais volontiers de cette question si un petit crédit supplémentaire le permettait.[442]

Mais ses absences répétées constituent le levier par lequel Janssen va devenir la cible de virulentes critiques, en particulier à l'occasion de la mort de Trouvelot en 1895. Il faut indiquer ici que ce dernier est accueilli par Janssen à Meudon en tant qu'astronome en 1882

---

[441] Sur cette façon de pratiquer la science, voir : AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633.
[442] *AN*, F17 3750.

sur les conseils de Camille Flammarion. Trouvelot, exilé aux Etats-Unis depuis le coup d'Etat du 2 décembre 1851, revient en France probablement suite à la défoliation des arbres du Massachusetts et des états voisins, situation dont il est à l'origine à cause de son élevage « hasardeux » de vers à soie.[443] Abandonnant l'entomologie, il met à profit ses talents de dessinateur dans le domaine de l'astronomie à partir de 1870 : il est engagé par Joseph Winlock, directeur de l'observatoire du Harvard College, pour la réalisation de dessins astronomiques[444]. Mais au début des années 1880, peut-être incité par l'accélération de la défoliation qu'il provoqua plus de dix auparavant, Trouvelot, cherchant à rentrer en France, prépare son retour grâce à l'appui de Jean-Baptiste Dumas.[445]

En novembre 1882, Trouvelot est donc engagé par Janssen pour ses qualités de dessinateur, notamment pour l'application de la méthode de Janssen concernant l'observation des protubérances, travail qu'il exécutait déjà à Harvard[446] :

Fig. 2.2.8: Dessin de protubérance par Trouvelot

Source: GUILLEMIN, Amédée, *Le Soleil*, Hachette, Paris, 1880, p.201

Une analyse sommaire de ses publications semble indiquer l'importance du dessin dans la pratique scientifique de Trouvelot : s'il capte les phénomènes astronomiques par une observation suivie d'un dessin, il appliquera la photographie à des phénomènes terrestres (étincelles électriques, éclairs).

Trouvelot expose notamment ses idées sur le Soleil dans un article paru dans le *Bulletin Astronomique* en 1885[447], auquel il joint de nombreux dessins du Soleil et des reproductions

---

[443] LAUNAY, Françoise, «Trouvelot à Meudon, une «affaire» et huit pastels», *L'Astronomie*, vol.117, octobre 2003, p.452-461. On peut également consulter : *The Observatory*, 1895, vol.18, p.245-246 ; HALE, George, Ellery, « Etienne-Leopold Trouvelot », *ApJ.*, 1895, vol.2, p.166-167 ; « E.-L. Trouvelot », *La Nature*, 1895, p.350 ; HERMAN, Jan K., CORBIN, Brenda, G., «Trouvelot : from Moths to Mars», *Sky and telescope*, décembre 1986, p.566-568.

[444] On peut se persuader de la qualité de ses dessins en consultant le volume 8 des *Annales de l'observatoire du Harvard College*, disponible également sur Internet à l'adresse : http://adsabs.harvard.edu/historical.html

[445] Le 10 mars 1881, Trouvelot écrit ainsi à Dumas : « J'ai reçu votre bienveillante lettre du 23 Déc. Dernier, qui bien que m'annonçant l'insuccès de ma demande près du Conseil de l'Observatoire, me rend cependant heureux en voyant que rien n'est changé dans les bonnes intentions que vous aviez à mon égard lors de ma visite à Paris l'année dernière.Peut-être en effet une position à l'Observatoire de Paris n'aurait pas été bien en rapport avec mon âge, et il est mieux, je pense, que je tente un effort dans une autre direction. L'esprit de retour ne s'est pas refroidi en moi et ne se refroidira pas. Je ne me décourage pas si facilement, et j'ai la persévérance tenace de l'observateur. Selon votre recommandation, Monsieur, je viens d'adresser une supplique à Monsieur le Ministre de l'Instruction Publique, lui demandant de m'accorder la direction d'un observatoire physique à créer sur quelque point favorable du territoire », *Archives de l'AdS*, dossier Trouvelot.

[446] Soit à l'aide de la lunette de 15 pouces de l'observatoire du Harvard College, ou dans son observatoire physique de Cambridge, équipé d'une lunette achromatique de Merz de 6 $^{1/3}$ pouces d'ouverture et de 8 ½ pieds de distance focale.

de spectres. Il tente alors d'inférer certaines conceptions sur la physique solaire, en inaugurant une approche qui nous semble assez originale ici : il compare les apparences observées et reproduites par le dessin à d'autres apparences observées cette fois-ci en laboratoire par Thomas Andrews, un physicien irlandais.[448]

<u>Fig. 2.2.9</u>: Dessins du Soleil par Trouvelot (la fig.18 n'est pas le résultat d'une observation mais un croquis théorique).
<u>Source:</u> TROUVELOT, E.-L., « Sur la structure intime de l'enveloppe solaire », *BA*, vol.2, 1885, p. 314A.

Trouvelot cite également les travaux de Cornu sur le renversement des raies spectrales qu'il applique au Soleil sous certaines conditions, et expose un modèle du Soleil où il propose un mode de fonctionnement de l'intérieur de l'astre : au-dessus d'un noyau solaire existe une couche appelée némathosphère (du grec nematos : fil, filament) où s'observent les filaments évoqués plus haut, puis la photosphère à proprement parler qui n'est qu'une couche très superficielle dégageant lumière et chaleur par la condensation des vapeurs métalliques à fort pouvoir émissif comparé à l'hydrogène et l'hélium. La fig.18 (fig 2.2.9 ci-dessus) illustre alors par un croquis très naturaliste ses idées sur la structure interne du Soleil.

A la mort de Trouvelot, Janssen est en alors l'objet d'une campagne de presse calomnieuse, menée par le journal nationaliste et antisémite *La Libre Parole*[449]. Si les relations de Janssen avec Trouvelot furent effectivement difficiles, si Janssen s'est plus investi vers la fin de sa vie en voyages à l'étranger et alpinisme scientifique, il eut aussi la « maladresse » de financer son observatoire par une société comprenant notamment, comme nous l'avons vu, Gustave Eiffel, qui sera bientôt sous les feux du scandale de Panama. En voilà suffisamment pour attaquer un vieil homme (il a alors 71 ans) à qui l'on reproche sa mauvaise gestion de l'observatoire, sa faible activité scientifique ou encore son opportunisme :

> Dès que M. Trouvelot arriva à Meudon en 1882, il voulut immédiatement se mettre au travail. Il n'en fallut pas davantage pour [que] M. Janssen le prit en grippe. Quel était donc cet intrus qui osait apporter des

---

[447] TROUVELOT, E.-L., « Sur la structure intime de l'enveloppe solaire », *BA*, vol.2, 1885, p.263-273, 364-373, 413-423, p.312-314A (planches)
[448] Dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, Andrews va travailler sur la liquéfaction des gaz. Il met en évidence la notion de température critique (1869) et reconnaît la continuité des états gazeux et liquide.
[449] On trouvera le détail de cette affaire dans l'article de Françoise Launay déjà cité.

habitudes de labeur dans ce site admirable où l'on était depuis si longtemps accoutumé à ne rien faire ? […] Mais M. Janssen ne voulait pas [que] M. Trouvelot pût faire des observations qui aurait fait trop lumineusement constater que lui, n'en faisait pas ou, tout au moins, n'en faisait plus.[450]

Ou encore :

Une cour, deux cours, trois cours où l'on entendait pousser l'herbe […]Mais l'Obs […] là-bas, parmi les splendeurs vertes du parc, éclate le blanc cru de deux ou trois dômes de façades…éternellement fermés [451]

[…] l'Observatoire de Meudon n'a jamais publié, depuis 17 ou 18 ans qu'il est fondé, un seul rapport annuel, un seul compte rendu. Il existe cependant si je ne m'abuse, un crédit de 10 000 francs, spécialement inscrit au budget de l'Observatoire, en vue de la publication du «bulletin» périodique de rigueur. Les 10 000 Fr. sont sans doute employés à d'autres usages, peut être à payer les frais de photographies plus ou moins «maquillées» qui sont adressées de temps en temps en manière de cartes de visite, à MM. les sénateurs, députés et autres gros bonnets.[…] .

Le 26 juin 1895, Janssen écrit alors au Ministre de l'Instruction Publique pour se défendre de ces allégations. Il précise que Trouvelot a été embauché à Meudon pour la réalisation de dessins journaliers des protubérances, et qu'il a mis à la disposition de Trouvelot un équatorial de 8 pouces, la meilleure lunette de l'observatoire à l'époque. Il insiste sur les prétentions déraisonnables de Trouvelot, dans le cadre des ressources dont dispose l'observatoire à savoir un salaire annuel 10 000 Fr. au lieu de 6 000 Fr ainsi que la publication de ses observations faites en Amérique. Et Janssen de rajouter que Trouvelot voulait faire de la « photographie intelligente », laissant supposer que sa propre pratique photographique ne l'était pas ? On peut imaginer que la « photographique intelligente » réclamée par Trouvelot pouvaient être ses épreuves d'éclairs ou d'étincelles électriques qu'il fait publier dans *La Nature*[452] :

---

[450] *La Libre Parole (La France aux français)*, vendredi 24 mai 1895.
[451] *Ibid.*, lundi 27 mai 1895
[452] A notre connaissance, les seuls articles rédigés par Trouvelot concernant la photographie sont consacrés aux phénomènes électriques et non à l'astronomie (hormis un article paru en 1886 dans *The Observatory* traitant de la photographie de la couronne solaire hors éclipse). Ces articles ont été écrits entre 1888 et 1890 : TROUVELOT, E.-L., « Sur la forme des décharges électriques sur les plaques photographiques », *La Lumière Electrique*, 1888, vol.30, p.269-273 ; « La photographie appliquée à l'étude des décharges électriques », *CRAS*, 1888, t.107, p.684-685 ; « Phénomènes produits par les décharges électriques sur le papier pelliculaire Eastman », *CRAS*, 1888, t.107, p.784-786 ; « La photographie de l'étincelle électrique », *L'Astronomie*, 1889, p.57-61 ; « Etude des phénomènes d'induction par le moyen de la photographie», *CRAS*, 1889, t.108, p.346-347 ; « Etude sur la structure de l'éclair», *CRAS*, 1889, t.108, p.1246-124 ; « Identité de structure entre les éclairs et les décharges des machines d'induction», *CRAS*, 1890, t.111, p.483-485 ; « La photographie appliquée à l'étude de l'étincelle électrique », *La Nature*, 1889, 2ème semestre, p.109-110 ; GUILLAUME, C.-E., « La durée des éclairs », *La Nature*, 1895, 1er semestre, p.213-214.

Fig. 2.2.10: Photographies d'étincelles électriques par Trouvelot.
Source: TROUVELOT, E.-L., « La photographie appliquée à l'étude de l'étincelle électrique », *La Nature*, 1889, 2ème semestre, p.109.

Finalement, ce regard sur Trouvelot et sur le nomadisme de Janssen nous permet d'appréhender l'évolution de la pratique dans le champ de l'AP : toujours ancrée dans une tradition de l'image, l'AP en France connaît déjà l'ébauche d'un changement. Quand Janssen mêle observatoire, laboratoire et pratique sur le terrain, apparaît une pratique où le laboratoire a un poids plus fort et déterminant qu'auparavant, et qui, en France tout du moins, sera largement exploité par la suite.

2.2.4 Unité et spécialisation

L'apparition d'un champ disciplinaire nouveau, comme l'astronomie physique, soulève la question de sa visibilité scientifique et institutionnelle, de sa spécificité dans le paysage des disciplines officiellement reconnues, et donc de la spécialisation qu'elle entraîne. Si l'on souhaite considérer Janssen comme un personnage important de l'astronomie physique à cette époque, il nous paraît important de regarder sa position face au problème de la spécialisation, que ce soit au niveau du matériel ou des pratiques. Nous avons déjà évoqué la pratique humboldtienne dont Janssen fait preuve lorsqu'il utilise l'image comme moyen heuristique. Il nous semble indispensable d'explorer plus avant cette source à laquelle Janssen a puisé, notamment par le biais de Faye qui publie une traduction du *Cosmos* de Humboldt[453], et indirectement d'Arago.

Humboldt, dans *Cosmos*, insiste sur l'idée d'unité des phénomènes. Il écrit ainsi que « La nature considérée rationnellement, c'est-à-dire soumise dans son ensemble au travail de la pensée, est l'unité dans la diversité des phénomènes, l'harmonie entre les choses créées, qui diffèrent par leur forme, par leur constitution propre, par les forces qui les animent »[454]. Chercher l'unité dans cette diversité des phénomènes passe donc par la même unité des

[453] HUMBOLDT, Alexander von, *Cosmos : essai d'une description physique du monde*, traduction de Hervé Faye et Charles Galuski, Gide et Baudry, Paris, 1855-1859.
[454] *Ibid.*, vol.1, p.3-4.

sciences, par l'unité des savants : « A mesure que les lois se généralisent, que les sciences se fécondent mutuellement, qu'en s'étendant elles s'unissent entre elles par des liens plus nombreux et plus intimes, le développement des vérités générales peut être concis sans devenir superficiel. »[455] Ainsi, les phénomènes terrestres et célestes présentent une unité matérielle qui incitent à une convergence des compétences : « En reculant les limites de la physique du globe, en réunissant sous un même point de vue les phénomènes que présente la terre avec ceux qu'embrassent les espaces célestes, on s'élève à la science du Cosmos, c'est-à-dire que l'on convertit la physique du globe en une physique du monde. »[456]

Humboldt insiste sur la nécessite de l'observation, et sur l'importance d'une science sensible : sa description du monde est envisagée comme l'objet des « sens extérieurs »[457]. L'émotion et la contemplation ont leur rôle à jouer dans l'acte de science : « La puissance de la nature se révèle, pour ainsi dire, dans la connexité des impressions, dans cette unité d'émotions et d'efforts qui se produisent en quelque sorte d'un seul coup. »[458] Cette nécessité de l'observation stigmatise l'importance du voyage : « Relégués sur un point de l'espace, nous n'en recueillons qu'avec plus d'avidité ce qui a été observé sous différents climats. Nous aimons à suivre d'audacieux navigateurs au milieu des glaces polaires, jusqu'au pic de ce volcan du pôle antarctique, dont les feux sont visibles pendant le jour à de grandes distances. »[459] Et Humboldt de comparer science et voyage : « L'étude d'une science qui promet de nous conduire à travers les espaces de la création, ressemble à un voyage dans un pays lointain. »[460]

On le voit, Humboldt a donc largement prôné l'unité des émotions, l'unité des disciplines de façon à saisir l'unité se cachant sous la diversité des phénomènes. Il estime alors primordial d'interroger le passé, de constituer une science quasi-historique par le biais d'annales résultant de l'observation : « Interroger les annales de l'histoire, c'est poursuivre cette trace mystérieuse sur laquelle l'image du *Cosmos*, qui s'était révélée primitivement au sens intérieur, comme un vague pressentiment de l'harmonie et de l'ordre dans l'univers, s'offre aujourd'hui à l'esprit comme le fruit de longues et sérieuses observations. »[461]

---

[455] *Ibid.*, p.35.
[456] *Ibid.*, p.46.
[457] *Ibid.*, p.52.
[458] *Ibid.*, p.8.
[459] *Ibid.*, p.26
[460] *Ibid.*, p.38.
[461] *Ibid.*, p.2.

Janssen réalise donc ce programme humboldtien, lui qui voyage sur tous les continents, se déplaçant au sommet des montagnes, des volcans, sur les îles, et même dans les airs à l'aide de ballons. Nous avons ainsi largement montré l'importance du voyage chez Janssen dans sa pratique scientifique, lui qui, issu d'une famille d'artistes, vit la science sur un mode sensible : « Par les efforts qu'elle demande, par les goûts qu'elle développe, par les spectacles qu'elle nous offre, la Science fortifie l'âme ; elle la grandit, elle l'élève, elle la ravit, elle la transporte en des régions où rien d'indigne d'elle ne peut la suivre : c'est par là qu'elle est d'origine vraiment divine et qu'elle mérite tous nos sacrifices, tous nos efforts, tout notre amour. »[462]
Et Janssen met lui aussi en avant l'échange entre les différents domaines lorsqu'il écrit que « quand plusieurs découvertes de cet ordre se produisent dans les diverses branches d'une même science ou dans des sciences voisines, ces découvertes amènent plus tard par des rapprochements judicieux à des connaissances inattendues et d'un ordre philosophique en général plus élevé que celles qui résultaient de chacune des découvertes considérées isolément. »[463] Janssen est donc conscient de la nécessité de faire converger les compétences:

> Bien plus, Messieurs, il y a un fait remarquable qui se dégage de plus en plus de l'histoire de la science contemporaine, c'est que les plus grandes découvertes se font actuellement sur les frontières de sciences dont les objets paraissaient fort différents. C'est ainsi que les physiciens ont, depuis vingt-cinq ans, révolutionné l'Astronomie et que la médecine est en train de l'être par les admirables travaux d'un chimiste.
>
> N'est-ce pas le signe qu'il est temps de rapprocher davantage encore les connaissances acquises dans les directions diverses pour les féconder par le contact et faire de nouvelles conquêtes.[464]

Et pour lui, convergence des compétences signifie convergence des sociétés savantes, lui qui est membre de ces très nombreuses sociétés qui se multiplient au XIX^{ème} [465]: « Ne toucher en quoi que ce soit à la liberté, à l'initiative, au gouvernement, en un mot à l'autonomie complète des Sociétés adhérentes ; créer seulement l'organisme qui sera appelé à les relier entre elles, à s'occuper de leurs intérêts généraux, soit d'ordre matériel, soit d'ordre

---

[462] JANSSEN, J., « L'âge des étoiles. Discours dans la séance publique annuelle des cinq Académies, du 25 octobre 1887. », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1888, p.727.
[463] *Ibid.*, p.711.
[464] JANSSEN, J., «Célébration du Centenaire de la Société de la Société Philomathique», *Bulletin de la Société Philomathique de Paris*, 8ème série, t.1, 1888-1889, p.10
[465] Académie des Sciences (1873), [Président en 1887]; Académies de Rome, Bruxelles, St Pétersbourg, Edimbourg, Washington… ; Bureau des Longitudes (1873) ; Commission Permanente Internationale aéronautique et colombophile [Président] ; Club Alpin Français ; observatoire de Meudon [fondateur en 1876] ; Société Astronomique de France (SAF) ; Société d'Hygiène ; Société de Géographie ; Société de l'observatoire du Mont-Blanc ; Société Française de Navigation Aérienne [en fut Président] ; Société Française de Photographie [Président en 1890 puis 1900] ; Société Philomathique de Paris (liste non exhaustive).

moral, à les représenter en toutes circonstances; en un mot, à créer cette vie de collectivité qui n'existe pas aujourd'hui. »[466]

Et les nouvelles techniques qui apparaissent au milieu du XIX^{ème} siècle consolident l'unité matérielle de l'univers évoquée par Humboldt. L'analyse spectrale a ici joué un rôle de premier plan pour poser l'identité des phénomènes terrestres et célestes. Janssen n'hésite pas à mettre en avant le rôle qu'il a lui-même joué : « En 1862, M. Janssen constata, à Rome, que l'étoile d'Orion compte le sodium parmi les vapeurs métalliques qu'elle contient. L'exactitude de cette conclusion fut confirmée en 1865 par MM. Huggins et Miller quand parut leur travail sur les étoiles. Au moment où elle parut, cette observation constituait le premier fait sur l'unité des éléments matériels du monde. »[467] Janssen avancera ainsi cette unité matérielle de l'univers enfin dévoilée par ses travaux lorsqu'il proposera, dès 1869, la création d'un observatoire spécialement dédié à la nouvelle astronomie qui se construit. La photographie, de son côté, va permettre la constitution des « annales de l'histoire » évoquées par Humboldt, et renouveler l'acte d'observation. Dans une conférence consacrée à la photographie faite à Toulouse lors d'un congrès de l'AFAS, Janssen utilise le même mot que Humboldt : « Ces annales solaires ont autant d'importance que les annales des histoires humaines, car si celles-ci intéressent la politique des nations, celles-là préparent à l'homme la connaissance de l'univers avec tous les fruits de puissance et de jouissance intellectuelle qui en découlent. » Et plus loin : « C'est ici que l'art photographique devient un auxiliaire d'un prix inestimable. Déjà les images de quelques-uns de ces corps ont laissé bien loin les dessins dus aux plus célèbres astronomes, et si nous pouvons espérer faire quelques progrès dans cette étude et laisser aux générations futures des documents délicats et certains, c'est à la photographie seule qu'on le devra »[468]. La photographie accompagne donc nécessairement tout acte de science chez Janssen, assurant ainsi l'unité du monde savant et la constitution de documents fiables pour le futur. Il transporte ainsi la photographie au sommet des montagnes, que ce soit à l'observatoire du Pic du Midi en 1888 ou lors de ses ascensions au sommet Mont Blanc de 1888 à 1893 qui préluderont la construction de l'observatoire qui occupera la fin de sa vie. Non seulement il promeut la photographie dans le domaine de l'astronomie, mais aussi dans celui de la météorologie, prédisant que cette technique permet de donner des images d'ensemble des phénomènes météorologiques observés, de mesurer nuages ou météores, de

---

[466] JANSSEN, J., «Discours prononcé à la réunion des délégués des Sociétés Photographiques de France, le 16 mai 1892», *Bulletin de la Société Française de Photographie*, 2ème série, t.8, n°11, juin 1892, p.289

[467] JANSSEN, J., « Les méthodes en astronomie physique », *Comptes rendus de l'AFAS*, 1882, p.17.

[468] JANSSEN, J., *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.2, p.48-49.

réaliser des mesures photométriques de la lumière des astres dans ses rapports avec l'atmosphère, et de léguer pour l'avenir un ensemble de documents utilisables :

<u>Fig. 2.2.11</u>: Mer de nuages observée au sommet du Pic du Midi, photographiée par Janssen

<u>Source:</u> JANSSEN, J., « Applications de la photographie à la météorologie »*, La Nature*, 1888, 1er semestre, p.65.

Malgré cela, Janssen fonde en 1875 un observatoire d'astronomie physique, un observatoire spécialisé, ce qui semble constituer une tension, une « tension essentielle » pour reprendre l'expression de Kuhn. Janssen fait alors des choix techniques qui ne sont pas ceux de la communauté astronomique de l'époque. Il opte notamment pour le télescope au détriment des lunettes, ce qui, selon John Lankford, ne sera accepté par les astronomes « traditionnels » qu'à la toute fin du XIX^{ème} siècle, et adhère en cela à une nécessaire spécialisation du matériel : « Pour nous résumer nous dirons que les progrès de la Science exigent aujourd'hui qu'on spécialise de plus en plus les instruments »[469].
Mais nous pouvons trouver chez Humboldt un élément de réponse, de résolution, lorsqu'il écrit :

> Je pense qu'il faut distinguer d'abord entre celui qui doit recueillir les observations éparses et les approfondir pour en exposer l'enchaînement, et celui qui à qui cet enchaînement doit être transmis sous la forme de résultats généraux. Le premier s'impose l'obligation de connaître la spécialisation des phénomènes. ; il faut, qu'avant d'atteindre la généralisation des idées, il ait parcouru, du moins en partie, le domaine des sciences, qu'il ait observé, expérimenté, mesuré lui-même.[470]

Finalement, la « tension essentielle » est plus chez Janssen une tension entre son discours et sa pratique : cette pratique se limite en fait à l'accumulation des « matériaux d'un vaste édifice », acte préalable, mais non de son ressort, de l'élucidation du « vaste enchaînement des forces qui animent l'univers »[471]. Ceci se concrétisera dans la production scientifique de Janssen, à savoir son atlas de photographies solaires paru en 1903. Janssen s'arrête à cet acte précis, et

---

[469] JANSSEN, J., « Remarques sur une Communication de Henri Deslandres : Photographies stellaires avec la grande lunette de l'observatoire de Meudon », *CRAS*, 1899, t.128, p.379.
[470] HUMBOLDT, Alexander von, *op.cit.*, p.32.
[471] *Ibid.*, p.46

laissera à d'autres le soin de réaliser l'imitation de la nature que nous avons déjà évoquée avec Trouvelot, et dont l'idée est déjà chez Humboldt :

> L'empirisme commence par des aperçus isolés que l'on rapproche selon leur analogie et leur dissemblance. A l'acte de l'observation directe succède, mais bien tard, le désir d'expérimenter, c'est-à-dire de faire naître des phénomènes sous des conditions déterminées. L'expérimentateur rationnel n'agit pas au hasard ; il est guidé par des hypothèses qu'il s'est formées, par un pressentiment à demi instinctif et plus ou moins juste de la liaison des choses ou des forces de la nature.[472]

[472] *Ibid.*, p.72.

2.3 L'Astronomie Physique « invitée » à l'Observatoire de Paris

2.3.1 L'optique astronomique d'Alfred Cornu

Si l'Observatoire de Paris se passe des services de Janssen en 1873, il va cependant accueillir Cornu dès 1875 pour des travaux photographiques. L'intérêt de Cornu pour l'astronomie semble assez fort, si l'on en croit son dossier conservé à l'Ecole Polytechnique, dossier qui insiste sur l'importance de cette discipline dans le chemin suivi par Cornu :

> A l'Ecole Polytechnique, il continua tout naturellement ses études physiques, en même temps qu'il s'adonnait avec un zèle particulier à la géométrie descriptive, qui garda toujours ses sympathies. Il avait commencé, en mathématiques spéciales, des travaux de mathématiques originaux et publié un premier mémoire sur les sections toriques ; il poursuivit alors ses recherches personnelles, qui prirent à ce moment, la direction de l'astronomie physique. Une partie de ses soirées se passait à étudier les astres dans le petit observatoire de l'Ecole avec le colonel Laussedat, qui était alors son professeur et qui resta toujours son ami. […]
>
> L'année 1873 fut, en même temps, consacrée à diverses recherches astronomiques ou photographiques, provoquées par le passage de Vénus ; pendant les années suivantes, les questions d'astronomie l'occupèrent de plus de plus et amenèrent ses travaux de spectroscopie : spectre ultra-violet, raies sombres du spectre solaire, limite ultra-violette du spectre solaire, etc. ; il avait été nommé, en février 1875, membre du Conseil de l'Observatoire.[…]
>
> Puis, en 1887, l'astronomie l'amena à s'occuper plus spécialement des questions de chronométrie : questions, qui l'avaient toujours intéressé et qui devaient attirer encore plus son attention, quand il prit, dans la suite, la part la plus active à l'installation de l'Observatoire de Nice.[473]

L'adhésion de Cornu pour les méthodes photographiques est, comme nous l'avons vu, à remettre dans un climat de méfiance. Cornu écrit déjà en 1872 : « Les plus forts grossissements appliqués aux images solaires dans les meilleures lunettes offrent des apparences très difficiles à interpréter aussi bien sur la photosphère que dans la partie sombre des taches ; de sorte que la structure interne du soleil nous est à peu près entièrement inconnue »[474]. C'est sous l'impulsion des travaux préparatifs à l'observation du passage de Vénus que Cornu entame cette collaboration avec l'Observatoire : sur les traces de Le Verrier

---

[473] *Archives de l'Ecole Polytechnique*, Dossier Cornu, X-III-b 56.
[474] CORNU, Alfred, « Sur la Constitution physique du soleil », *AFAS*, Conférence du 9 septembre 1872.

et Fizeau, Cornu estime que des mesures en laboratoire de la vitesse de la lumière peuvent avantageusement remplacer les coûteuses expéditions aux quatre coins de la planète :

> […] cette vitesse, combinée avec certaines constantes astronomiques, permet de calculer la parallaxe du Soleil dont l'observation directe exige de si pénibles voyages et le dévouement de tant d'astronomes. Aussi, sur la proposition de M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, et de M. Fizeau, membre du Conseil de l'Observatoire, décidait-il, au commencement de 1874, qu'une détermination de la vitesse de la lumière serait entreprise sans rien négliger de ce qui pourrait donner à l'opération toute la précision désirable. […] Le Conseil me fit l'honneur de me confier cette opération importante. [475]

Cornu applique pour cette mesure la méthode de Fizeau, à savoir l'utilisation d'une roue dentée mise en rotation. Il commence ses expériences entre l'Ecole Polytechnique et la tour de l'administration des télégraphes, puis entre l'Ecole Polytechnique et le mont Valérien (10km)[476]. Enfin, la proposition de Le Verrier lui permet d'installer ses expériences entre l'OP et la tour de Montlhéry (23 km). Le Verrier met alors à la disposition de Cornu une lunette de 8,85 m de distance focale et 38 cm d'ouverture (l'équatorial de la Tour de l'Est) : après 504 expériences où Cornu fait varier l'ensemble des paramètres (diversité des roues, nombre et forme des dents, grandeur et sens de la rotation), ce dernier trouve une valeur moyenne de la vitesse de la lumière de 300400 km/s avec une erreur inférieure à 1/1000. L'étude du dispositif employé par Cornu pour cette mesure montre que l'on invoque les mêmes arguments techniques et politiques que ceux qui sont à l'œuvre pour la photographie du passage de Vénus, qu'elle cherche à concurrencer : enregistrement automatique du phénomène, sans intervention humaine, et contribution à la gloire française dans le concert des nations.

Fig. 2.3.1: Dispositif employé par Cornu pour la vitesse de la lumière.

Source : CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de la lumière», *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.182-186

En effet, dans son article paru dans *La Nature*, Cornu note bien tout d'abord que « l'observateur n'a pas à se déranger pour compter les secondes, régler la vitesse de rotation, écrire le nombre, guetter le phénomène et enregistrer les données ; c'est l'appareil lui-même

---

[475] CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *CRAS*, 1874, t.79, p.1361.

[476] Voir pour cela : « Expériences nouvelles sur la vitesse de la lumière par M. Alfred Cornu », *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.182.

qui donne tout cela *automatiquement* […] »[477], et il termine de façon emphatique: « Imaginée et employée uniquement par un Français, c'est, pour ainsi dire, un héritage national ; nous avons le droit d'en être fiers, aujourd'hui qu'elle nous permet de résoudre à l'avance un problème, dont les expéditions lointaines n'ont pas encore rapporté les éléments longs à réduire et à utiliser ; dans ce tournoi scientifique, la France occupe ainsi une place glorieuse. »[478] De plus, cet héritage n'est pas issu de n'importe quelle tradition : Cornu emploie la méthode imaginée par Fizeau en 1849, malgré les résultats plus remarquables obtenus selon la méthode de Foucault, à l'aide de miroirs tournants[479]. Son expérience représente donc un évident plaidoyer pour une certaine façon d'envisager les relations entre l'astronomie et la physique : en écrivant son article dans *La Nature* où Flammarion l'année suivante exposera le principe du revolver photographique de Janssen et où le même Flammarion expose son enthousiasme pour les missions lointaines prévues pour l'observation du passage de Vénus, en donnant un caractère automatique et impersonnel à son dispositif, en montrant délibérément sa préférence pour la mesure de laboratoire contre l'image photographique, en affirmant l'héritage de Fizeau contre celui de Foucault, Cornu s'inscrit dans une démarche identique à celle d'un Le Verrier qui écrira suite à une note de Cornu à l'Académie :

> En donnant à M. Cornu les moyens d'effectuer sur une grande échelle le travail dont il vient de présenter le résultat à l'Académie, le Conseil de l'Observatoire a voulu, non seulement assurer la réalisation d'un travail attendu depuis longtemps, mais aussi donner un premier témoignage de son intention, à laquelle s'associent tous les fonctionnaires de l'établissement, de mettre les grands moyens dont nous disposons, et qui vont encore s'augmenter, à la disposition des savants pour l'exécution d'entreprises utiles au progrès de l'Astronomie et de l'Optique.[480]

---

[477] L'enregistrement du mouvement de la roue dentée est réalisé par un cylindre recouvert de papier enfumé tournant lentement et s'avançant graduellement à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie (construit par Bréguet). Un premier style enregistre le temps, un autre le nombre de tours de la roue dentée (on peut donc avoir accès à la vitesse de rotation de la roue dentée), tandis qu'un troisième style, déclenché par l'observateur à l'aide d'un manipulateur de Morse, enregistre les moments où se produisent les extinctions et réapparitions.

[478] CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de la lumière», *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.182-186

[479] Nous nous basons sur une notice écrite à l'occasion de la mort de Fizeau en 1896 : « It is true that his familiar toothed-wheel apparatus has proved less accurate than the more complicated revolving mirror method employed of Foucault in the hands of modern physicists, but even so lately in 1874 Cornu preferred it in his very elaborate determination of this physical constant. » In « Armand Hippolyte Louis Fizeau », *Astrophysical Journal*, vol.4, 1896, p.367-368.

[480] CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *CRAS*, 1874, t.79, p.1365

<u>Fig. 2.3.2:</u> Planches représentant différents détails de l'expérience de mesure de la vitesse de la lumière par Cornu en 1876 (disposition générale entre l'OP et la Tour de Monthléry, cylindre enregistreur, roue dentée)

<u>Source :</u> CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière, d'après des expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Monthléry »*, Mémoire de l'Observatoire de Paris,* A1-A316, 1876.

Ainsi, après 1874, Cornu continue à employer l'équatorial de la tour de l'Est et sa lunette de 8,85m de focale pour des études de photographie astronomique : « Lorsque ces expériences furent terminées, le Conseil de l'Observatoire, sur la proposition de son président, M. Le Verrier, décida l'organisation d'un service de Photographie astronomique et voulut bien adopter mon projet d'utilisation du grand équatorial démonté […] »[481]. Il en profite pour promouvoir sa méthode d'obtention de l'achromatisme chimique, et réitère ses inquiétudes vis à vis de la photographie : « Les images ainsi amplifiées gagnent peut-être un certain effet artistique, mais elles perdent le caractère le plus précieux des images directes, celui d'être absolument affranchies de toute aberration[…] »[482]. Cependant, il réalise à cette époque des photographies d'Uranus, du Soleil, de la Lune, et envisage des applications à la photographie de Vénus et de Jupiter. Mais son travail à l'OP rencontre un obstacle majeur : l'équatorial de la Tour de l'Est lui-même. Comme Philippe Véron l'a montré, cet équatorial aura été quasi inutilisable, en raison de la lunette elle-même et de la coupole[483]. En effet, dans une note où il présente ses études de photographie astronomique, Cornu mentionne le fait que « L'instrument, commandé par Arago, n'avait jamais fonctionné par suite de l'altération du crown-glass de l'objectif »[484]. Si Arago conçoit en 1839 le projet d'une grande lunette de 0,38m d'ouverture pour l'observation des étoiles doubles, celle-ci est à peine terminée en 1855 et l'on se rend déjà compte que la trop forte proportion d'alcali contenu dans le verre génère sur sa surface une humidité importante. En 1874, Cornu peut enfin utiliser la lunette après son repolissage par Secrétan, pour réaliser son expérience de mesure de la vitesse de la lumière. Il va alors l'utiliser pendant quelque quatre ans, pour des recherches photographiques et spectroscopiques. Mais Mouchez notera en 1882 qu'hormis le problème lié à l'objectif, le mécanisme était également insuffisant à un point tel qu'il fallait une demi-heure pour la faire

---

[481] CORNU, Alfred, « Etudes de photographie astronomique », CRAS, 1876, t.83, p.44
[482] *Ibid.*, p.45.
[483] VERON, Philippe, « L'Equatorial de la Tour de l'Est de l'Observatoire de Paris », http://www.obs-hp.fr/www/preprints/pp158/pp158.pdf
[484] CORNU, Alfred, « Etudes de photographie astronomique », *CRAS*, t.83, 1876, p.44

tourner. Malgré tout, Cornu effectue donc des études de photographie planétaire, et envisage de poursuivre par la réalisation de photographies stellaires. Il va également utiliser l'équatorial de la Tour de l'Est pour des études spectroscopiques, notamment sur le spectre de l'étoile nouvelle apparue dans la constellation du Cygne en 1876 (on nomme maintenant ces astres des novae). Cornu y montre toute sa méthode et son caractère : après avoir montré l'allure du spectre – à savoir des raies brillantes se détachant sur un fond lumineux, interrompu entre le vert et l'indigo- il donne le résultat des mesures obtenues à l'aide d'un spectroscope à vision directe de Duboscq, tout d'abord à l'aide des divisions de l'échelle arbitraire obtenue puis dans l'échelle des longueurs d'onde, en utilisant les raies C et F de l'hydrogène et D du sodium pour la correspondance.

Fig. 2.3.3: Spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne obtenu par Cornu en 1876.

Source : CORNU, Alfred, « Sur le spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne », *CRAS*, 83, 1876, p.1172-1174.

Cornu note l'analogie de composition entre le spectre de cette étoile et celle de la chromosphère du Soleil, mais montre aussitôt les difficultés de ce genre de raisonnement : « je m'abstiendrai de tout commentaire et de toute hypothèse à ce sujet ; je crois que nous manquons de données nécessaires pour arriver à une conclusion utile, ou tout au moins susceptible de contrôle. Quelque attrayantes que soient ces hpothèses, il ne faut pas oublier qu'elle sont en dehors de la Science, et que, loin de la servir, elles risquent fort de l'entraver. »[485]

Ainsi, la tentative d'insertion de l'astronomie physique au sein de l'OP se solde par un échec, à cause d'un matériel attribué par défaut (dans tous les sens du terme) à la nouvelle science astronomique. En dépit d'une volonté de façade, l'institution phare de la Mécanique Céleste ne donne pas de moyens exclusifs et spécialisés à l'astronomie physique.

Cornu va cependant contribuer par d'autres travaux au développement de la discipline en France, lui imprimant une spécificité que l'on retrouvera chez ses élèves : limite ultraviolette du spectre solaire, utilisation de l'effet DF pour l'identification des raies telluriques du spectre solaire, étude du renversement des raies du spectre d'un élément chimique en vue de

[485] CORNU, Alfred, « Sur le spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne », *CRAS*, 83, 1876, p.1174.

l'identification de séries de raies de l'hydrogène et de la découverte d'une fonction hydrogénique, étude notamment reliée à une réflexion sur l'hypothèse cosmogonique de Laplace.

Pendant plus de quinze ans, Cornu va s'attacher au problème de la détermination de la limite du spectre solaire dans la partie ultraviolette[486]. Son travail est initié par le désir de poursuivre celui d'Angström, à savoir la réalisation d'un dessin du spectre normal du Soleil. Pour cela, Cornu envisage deux parties : réaliser le spectre de W (410, 10 nm) à O (343,97 nm), cette opération se faisant à l'aide des spectroscopes ordinaires de laboratoire ; puis de O à U (294,80 nm), avec des objectifs en quartz et des prismes en spath d'Islande, les matériaux usuels (flint et crown) absorbant le rayonnement à ces longueurs d'onde. Ainsi, Cornu espère cartographier le spectre solaire ultraviolet à l'aide de la photographie, et au-delà de la limite de l'absorption atmosphérique. Il utilisera pour cela comme appareil dispersif successivement des prismes, un réseau de Nobert (1874), puis un réseau de Brunner et un réseau de Rutherfurd (1879-1882)[487].

<u>Fig. 2.3.4:</u> Spectre normal du Soleil au voisinage de la limite ultra-violette

<u>Source :</u> CORNU, Alfred, « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire, d'après des clichés obtenus par M. le Dr Simony au sommet du pic de Teneriffe», *CRAS*, t.111, 1890, p. 947.

Ce travail va l'amener à rechercher la cause de la limite du spectre solaire dans la partie ultraviolette, et ainsi à mathématiser l'ensemble des paramètres rentrant en jeu. Tout d'abord, il attribue cette limite à l'atmosphère terrestre, qui absorbe les rayonnements lumineux dans cette partie du spectre. Plusieurs paramètres semblent avoir un rôle : hauteur du Soleil (c'est-

---

[486] CORNU, Alfred, « Sur le spectre normal du Soleil, partie ultraviolette », *Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t.3, 1874, p.421-434 ; « Etude du spectre solaire ultra-violet», *CRAS*, t.86, 1878, p.101-104 ; « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire», *CRAS*, t.88, 1879, p.1101-1108 ; « Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes», *CRAS*, t.88, 1879, p.1285-1290 ; « Observation de la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes», *CRAS*, t.79, 1879, p.808-814 ; « Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance absorbant dans l'atmosphère les radiations solaires ultra-violettes», *CRAS*, t.90, 1880, p.940-946 ; « Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultra-violets et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients», *AFAS*, 8 septembre 1884, p.103-112 ; « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire, d'après des clichés obtenus par M. le Dr Simony au sommet du pic de Teneriffe», *CRAS*, t.111, 1890, p.941-947.

[487] Sur le travail de cartographie du spectre solaire dans la partie ultraviolette, on pourra consulter l'ouvrage de Klaus Hentschel : *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p.89, 132-135, 147, 299, 307, 333.

à-dire couche d'atmosphère traversée, et donc importance de la saison), nature de la matière absorbante. Si Cornu évoque en 1878 le rôle de la vapeur d'eau, il l'exclut en 1884 pour signaler l'absorption très forte de l'ozone dans ces longueurs d'onde. En ce qui concerne l'influence de la hauteur du Soleil sur la limite ultraviolette, Cornu arrive à une relation empirique qui relie la hauteur h du Soleil à la longueur d'onde limite :

$$\sin h = 0{,}49.e^{-0{,}08330(\lambda-300)} \qquad \text{(avec } \lambda \text{ en nm et h en °)}$$

L'influence de l'altitude va le conduire à un très exceptionnel voyage dans les Alpes en juillet 1879, confirmant ses idées émises lors du passage de Vénus au sujet de l'inutilité des voyages scientifiques :

> Ainsi on recule la limite de visibilité des radiations d'une quantité correspondant à une unité (millionième de millimètre) dans la longueur d'onde lorsqu'on s'élève de 663^{m}, 3 en altitude. Ce gain est, relativement à la longueur du spectre que donnent les étincelles d'induction ou l'arc électrique, extrêmement faible. Si l'on songe que l'on ne peut guère faire d'observations régulières au-dessus de 4000 mètres d'altitude, on voit que le gain calculé n'atteint que six unités ou environ la moitié de la différence qui se présente de l'hiver à l'été ; le résultat obtenu serait donc encore bien loin de correspondre aux efforts à dépenser pour aller installer des appareils à une altitude aussi grande.[488]

A nouveau, Cornu jette le discrédit sur les expériences de « terrain », et réaffirme la prédominance des expériences de laboratoire dans son approche méthodologique. Cependant, en 1890, il évoque l'observatoire que Janssen projette de construire au sommet du Mont-Blanc, en notant l'intérêt éventuel qu'il pourrait fournir :

> Ainsi au sommet du mont Blanc (alt. 4810^{m}), la surélévation de 1110^{m} au dessus du pic de Teyde donnerait à peine une unité et demie, c'est-à-dire ne reculerait la limite des *détails nets* du spectre solaire que jusqu'à $\lambda = 292$. Malgré ce faible bénéfice, l'intérêt qui s'attache à la connaissance approfondie des radiations solaires rend fort désirable la détermination directe de cette limite : l'installation projetée d'une station au sommet du mont Blanc permettrait de réaliser l'expérience, surtout si le séjour à cette grande altitude pouvait se prolonger suffisamment.[489]

---

[488] CORNU, Alfred, « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire», *CRAS*, t.88, 1879, p.1107-1108.
[489] CORNU, Alfred, « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire, d'après des clichés obtenus par M. le D^{r} Simony au sommet du pic de Teneriffe», *CRAS*, t.111, 1890, p.947.

L'adhésion de Cornu à une astronomie physique de haute altitude n'est donc pas franche car elle est assortie de nombreuses conditions. Il affectionne évidemment la mathématisation des phénomènes, qui lui donne un pouvoir prédictif évident. Dans ses études sur la limite du spectre solaire dans l'ultraviolet, il va ainsi par exemple exprimer l'intensité photographique d'une radiation de longueur d'onde λ : $P = I_\lambda F(t, \lambda)a_\lambda^{\varepsilon}$, où I est l'intensité de la radiation, F une fonction de la longueur d'onde et du temps d'exposition, et a_λ le coefficient d'absorption de l'épaisseur traversée. Puis, il exprime W, la condition de limite d'impression, C la condition d'uniformité du spectre, qu'il relie à l'influence de l'épaisseur d'absorbant traversé, pour aboutir (avec l'hypothèse que l'intensité de l'impression est proportionnelle à l'intensité de la radiation) à une expression du coefficient d'absorption d'une certaine substance en fonction de la longueur d'onde : $a_\lambda = (\frac{W}{C})^{\frac{e^{m\lambda}}{Ab}}$. Enfin, il cherche l'influence du temps d'exposition sur la longueur d'onde et trouve une relation empirique : $\lambda = b + \frac{A}{\sqrt{t}}$. Ses expériences lui donnent b = 296,5 nm (radiation limite, qui est pour lui indépendante de la sensibilité) et A = 100 (donc en $s^{1/2}$), ce qui après discussion, lui montre que l'influence de la substance photographique sur la recherche de la longueur d'onde limite est très faible. Cette étude est évidemment importante à une époque où de nouvelles substances photosensibles (le gélatinobromure d'argent) apparaissent et rivalisent avec le collodion humide alors employé : « La découverte de nouvelles mixtures photographiques beaucoup plus sensibles que le collodion humide (que j'employais primitivement) pouvait faire espérer un accroissement notable de la limite du spectre solaire ; l'expérience directe d'accord avec la loi empirique ci-dessus indiquée , montre qu'il n'en est rien et que le gain, même en employant des émulsions à la gélatine, 25 fois plus sensibles que le collodion humide, est presque inappréciable »[490].

Cornu va appliquer quasi-systématiquement cette méthode expérimentale basée sur la recherche de lois empiriques : ce sera le cas également pour ses travaux sur les renversements des raies spectrales. Suite à la polémique qu'il eut avec Janssen concernant la constitution physique du Soleil déduite d'observations spectrales au laboratoire, Cornu écrit une note sur le sujet, après le regain d'espoirs suscités par l'étude des spectres d'étoiles blanches par William Huggins (spectre de l'hydrogène) : « je dirai seulement que j'avais abandonné ces recherches lorsque la belle découverte du D^r^ Huggins, sur le spectre des étoiles blanches,

[490] CORNU, Alfred, « Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultra-violets et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients», *AFAS*, 8 septembre 1884, p.106.

ramena vivement mon attention sur ce sujet et m'ouvrit un horizon nouveau »[491]. Sur cette question, Cornu rappelle à nouveau le caractère pionnier qu'a joué Fizeau : « [Les caractères des raies spontanément renversables] sont bien connus des physiciens et ont été observés, pour la première fois, dans la combustion du sodium par M. Fizeau »[492]. Le problème soulevé est, en fait, celui de l'élucidation de l'apparition de ces raies en fonction des conditions de température, de pression, de densité lors de l'obtention des spectres métalliques.

Fig. 2.3.5: Série de raies spontanément renversables de l'aluminium et du thallium, rapportées à l'hydrogène.
Source : CORNU, Alfred, « Sur les raies spectrales spontanément renversables et l'analogie de leurs lois de répartition et d'intensité avec celles des raies de l'hydrogène », *CRAS*, 100, 1885, p.1186

Le fait de rapporter la répartition de ces raies à celles de l'hydrogène amène Cornu à développer l'idée d'une « fonction hydrogénique » que nous reverrons avec Deslandres. Cette réduction à une fonction élémentaire, primitive, est également son souci lorsqu'il s'aventure à des hypothèses cosmogoniques, fondées sur l'analogie et l'identité de lois empiriques. En 1878, alors qu'il tente de montrer la possibilité d'une analyse chimique quantitative des éléments présents dans l'atmosphère solaire (basée sur la proportionnalité des pouvoirs émissifs et absorbants des constituants de cette atmosphère), Cornu est amené à se demander si la présence d'une quantité considérable de fer dans la composition du Soleil « est purement accidentelle ou si dans tous les corps du système solaire (et peut-être tous les corps sidéraux) n'auraient pas une origine commune qui se révèlerait par la présence, dans une proportion notable, de fer que le spectroscope a décelé dans l'enveloppe extérieure du Soleil »[493]. Du Soleil au système solaire, via l'idée de l'unité de composition de l'Univers, Cornu tente l'hypothèse que « la profusion des aérolithes dans notre système planétaire tendrait à confirmer l'idée d'une commune origine de tous les corps célestes (hypothèse cosmogonique de Laplace) et à faire voir dans ces aérolithes le type de la *matière cosmique élémentaire* »[494]. Le raisonnement par recours à des identités numériques le conduit aussi à développer une hypothèse météoritique pour expliquer les taches solaires : « il est donc très vraisemblable

[491] CORNU, Alfred, « Sur les raies spectrales spontanément renversables et l'analogie de leurs lois de répartition et d'intensité avec celles des raies de l'hydrogène », *CRAS*, 100, 1885, p.1187
[492] *Ibid.*, p.1184.
[493] CORNU, Alfred, « Sur quelques conséquences de la constitution du spectre solaire», *CRAS*, t.86, 1878, p.531.
[494] *Ibid.*

que les anneaux des météorites entourent [le soleil] et qu'ils finissent parfois par tomber partiellement sur le soleil. Ce serait là, suivant notre hypothèse, la cause occasionnelle des taches et, si l'on peut poursuivre les conséquences de cette idée, on verra que les faits s'expliquent et que beaucoup d'anomalies bien constatées disparaissent. »[495] Et Cornu d'expliquer les apparences de la surface solaire par des rapprochements entre les périodes de certains essaims de météorites, entre la localisation des taches autour de l'équateur solaire et le plan de révolution de ces métérorites. Ce fait montre le renouveau des hypothèses cosmogoniques qui apparaît durant la deuxième moitié du XIX^{ème} et que nous développerons dans le chapitre 3.2, comportement permis par la croyance en une unité de la nature, permettant le passage du laboratoire à l'atmosphère terrestre, de l'atmosphère solaire et du soleil au comètes, étoiles, nébuleuses, … Les études stellaires n'ont donc, dans cet ordre d'idées, aucun caractère spécifique.

S'il semble que Cornu abandonne assez vite l'utilisation de l'équatorial de la Tour de l'Est pour les raisons que nous avons évoquées, il continuera à fréquenter l'OP notamment pour des études photométriques. Il publie en 1881 et 1883 une série d'articles sur le sujet, dont un avec Albert Obrecht[496, 497]. On ne peut que constater à nouveau la simultanéité des publications à ce sujet entre Janssen et Cornu : tous deux proposent en 1881 une méthode photométrique. Si Janssen base son procédé sur un phénomène photographique, Cornu situe son appareil au niveau des travaux de Zöllner à Potsdam et de Pickering à Harvard[498]. Le photomètre de Zöllner utilise une lampe à pétrole comme source de lumière, celle-ci servant à former une étoile artificielle dont l'éclat, réglé à l'aide de nicols, sera rendu égal à celui de l'étoile observée. C'est donc le phénomène de polarisation de la lumière qui sera utilisé, de même que pour le photomètre de Pickering. Ce dernier appareil utilise un prisme à double réfraction de spath d'Islande, permettant d'égaliser l'éclat, non d'une étoile artificielle et d'une étoile

---

[495] CORNU, Alfred, « Sur la Constitution physique du soleil », *AFAS*, 9 septembre 1872, p1259.

[496] CORNU, Alfred, « Etudes photométriques », *La Lumière Electrique*, 5, 1881, p.221-224 et 232-234 ; « Sur la possibilité d'accroître dans une grande proportion la précision des observations des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, 96, 1883, p.1609-1615 ; CORNU, Alfred, OBRECHT, A., « Etudes expérimentales relatives à l'observation photométrique des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, 96, 1883, p.1815-1821.

[497] OBRECHT, Albert, « Observation photométrique d'une éclipse du premier satellite de Jupiter », *CRAS*, 97, 1883, p.1128-1130 ; « Etude sur les satellites de Jupiter », *Annales de l'Observatoire de Paris*, 18, 1885, H1-H100.

[498] Sur les débuts de la photométrie astronomique, on pourra consulter : « Photometer », *Instruments of Science : an Historical Encyclopedia*, BUD, Robert, WARNER, Deborah Jean (dir.), Garland Pub, New-York, 1998 ; HENROTEAU, F., *Les Etoiles Simples*, Gaston Doin Editeur, Paris, 1921, p.44-81 ; HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge University Press, Cambridge, 1996 ; JOHNSTON, Sean, F., *A History of Light and Meausrement*, Institut of Physics Pblishing, Londres, 2001.

réelle, mais de deux étoiles réelles dont l'une est prise comme standard (l'étoile polaire par exemple). Le dispositif de Cornu n'utilise pas la polarisation, mais un œil de chat qui module l'intensité de chaque source envoyée sur deux objectifs L_1 et L_2 par le mouvement de deux plaques métalliques, l'effet d'un pignon commun à deux crémaillères, chaque plaque portant une ouverture carrée AB ou A'B' :

Fig. 2.3.6: Eléments du photomètre de Cornu
Source : CORNU, Alfred, « Etudes photométriques », *La Lumière Electrique*, 5, 1881, p.221 et 224.

Si les travaux de Pickering et Zöllner sont à l'origine de catalogues contenant des dizaines de milliers de mesures, l'objectif de Cornu est tout autre : il va se servir de son photomètre pour l'observation des éclipses des satellites de Jupiter dans le but de mesurer la vitesse de la lumière, la constante de l'aberration. Obrecht, qui travaille avec Cornu sur cette expérience, donne un but autre : « Dans une communication récente, M. Cornu a exposé une nouvelle méthode d'observation des éclipses des satellites de Jupiter . Cette méthode consiste à comparer, pendant le phénomène, l'éclat variable du satellite à l'éclat constant d'une source auxiliaire et à déterminer l'époque du demi éclat. Pour expérimenter cette méthode, M. Mouchez a fait installer sur l'équatorial coudé de M. Loewy un photopolarimètre portatif, construit d'après les données de M. Cornu, en vue de la détermination des longitudes ». [499] Cornu place à nouveau son appareil avec des contraintes identiques à celles de l'observation du passage de Vénus. Il vise l'enregistrement d'un phénomène dynamique, à savoir l'observation des éclipses des satellites de Jupiter, et cherche à traduire le phénomène sous forme d'une « loi expérimentale de la variation de l'éclat du satellite avec le temps ». Pour cela, sa méthode vise l'enregistrement automatique des variations d'éclat de l'astre observé par un dispositif qui rappelle également celui employé pour la détermination de la vitesse de la lumière :

[499] OBRECHT, Albert, « Observation photométrique d'une éclipse du premier satellite de Jupiter », *CRAS*, 97, 1883, p.1128. Obrecht est polytechnicien, puis diplômé de l'Ecole du Génie. Suite à une maladie il quitte l'armée, et entre aux finances pour avoir une position. Mais lorsque l'école d'astronomie de l'Observatoire de Paris est créée, il demande à y entrer. Élève astronome à l'Observatoire de Paris, à partir de 1879, il est nommé aide-astronome en 1881, puis astronome adjoint. Il soutient à Paris, le 17 juillet 1884 une thèse de doctorat : *Etude sur les éclipses des satellites de Jupiter*. Il deviendra directeur de l'observatoire de Santiago du Chili en 1890.

L'astre artificiel est produit par le foyer conjugué d'un très petit trou éclairé par une source convenable ; l'ouverture de l'objectif qui produit cette image est réglée par un *œil-de-chat*, mû par une crémaillère dont le pignon est manœuvré par l'observateur. L'une des plaques mobiles de l'œil-de-chat porte un appendice muni d'un bracelet s'appuyant sur le cylindre enfumé d'un chronographe. La loi des intensités de l'astre artificiel avec le temps s'inscrit automatiquement, et un signal spécial de l'observateur marque l'époque où l'éclat des deux points lumineux a paru identique. Cet appareil photométrique est si facile à manœuvrer que, avec un peu d'habitude, on peut réduire à moins de trente secondes la durée nécessaire à l'exécution d'un pointé.[500]

Et Cornu de proposer une loi mathématique représentant la variation de l'éclat des satellites de Jupiter :

$e = \frac{e_1}{\pi}(\pi - \omega + \sin\omega\cos\omega)$ avec ω dépendant du temps par la relation : $x = v(t-t_0) = R\cos\omega$

(x : déplacement de l'écran).

<u>Fig. 2.3.7:</u> Résultats d'observations photométriques des satellites de Jupiter par Cornu et Obrecht

<u>Source :</u> CORNU, Alfred, OBRECHT, A., « Etudes expérimentales relatives à l'observation photométrique des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, 96, 1883, p.1817

Mais ce qui est le plus remarquable est le fait que Cornu n'observera pas lui-même de réelle éclipse de satellites : c'est à Obrecht que reviendra ce soin. Cornu s'est attaché à démontrer au laboratoire, sur une source artifcielle, une « loi connue à priori », à réduire l'ensemble des erreurs identifiées, et à mettre au point une méthode photométrique, à l'aide des seules ressources de l'optique, basée sur l'idée nouvelle de renoncer à définir l'immersion ou l'émersion d'un satellite par l'époque de la disparition ou de la réapparition de l'astre, mais d'utiliser plutôt, pour des raisons d'incertitude physiologique et géométrique, l'époque où l'astre présente la moitié de son éclat normal. Cornu note ainsi que « tous les appareils de mesure […] ont été réalisés et expérimentés, soit au laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique, soit à l'Observatoire de Paris, et les résultats sont assez satisfaisants pour que notre confrère M. Mouchez, directeur de l'Observatoire, ait autorisé l'installation définitive de ces appareils sur l'un des grands équatoriaux de l'établissement »[501], sachant que « le reste est

[500] CORNU, Alfred, « Sur la possibilité d'accroître dans une grande proportion la précision des observations des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, 96, 1883, p.1611.
[501] *Ibid.*, p.1615.

du domaine de la Mécanique céleste »[502]. Cornu est donc intervenu à un simple niveau instrumental, et pour vérifier une loi empirique. On voit alors la différence entre les travaux photométriques réalisés par exemple au Harvard College par Pickering, et ceux de Cornu. Si Pickering préfigure la Big Science en réalisant in fine plus d'un million de mesures, publiant en 1884 le *Harvard Photometry*, un catalogue de quelque 4000 étoiles, et en 1901 un nouveau catalogue de 24 000 étoiles de grandeurs inférieures à 7,5. De son côté, le but de Cornu n'est pas le catalogage et l'accumulation de chiffres, mais la perfection instrumentale, l'augmentation de la précision par la réduction des erreurs. Ce qui importe est le geste métrologique : l'instrument est l'objet d'études à la place du phénomène observé[503].

Dernier point sur lequel Cornu va travailler dans le domaine de l'astronomie physique : les raies telluriques et leur identification par l'utilisation de l'effet Doppler-Fizeau (que nous noterons DF). Ici encore Cornu investit un champ que Janssen a défriché, au point d'y laisser son empreinte : l'expression « raies telluriques ». Mais que va apporter Cornu à l'étude de ces raies ? Il va surtout élargir le champ des méthodes propres à distinguer les raies solaires des raies telluriques, ces dernières jouant un rôle particulier en astronomie, mais aussi en physique. En effet, les diverses méthodes utilisées par Cornu seront basées sur l'application du principe de DF, à la fois pour vérifier cet effet particulier, et ensuite pour l'appliquer à la rotation du Soleil et de ses différentes couches, puis pour déterminer ou préciser la rotation des planètes du système solaire. Avancé par le physicien autrichien Doppler en 1843, puis formulé définitivement par Fizeau en 1848, cet effet stipule que la fréquence d'un signal émis par une source (lumineuse ou sonore) varie en apparence selon le mouvement relatif de la source et de l'observateur: ainsi un éloignement relatif de la source et de l'observateur produit un décalage vers les grandes longueurs d'onde (vers le rouge pour la lumière) tandis qu'un rapprochement relatif produit un décalage vers les faibles longueurs d'onde (vers le bleu pour la lumière). Pour la lumière, l'effet est très difficilement observable, en raison de la vitesse relative entre la source et l'observateur très faible par rapport à la vitesse de la lumière: l'astronomie apporte ainsi un moyen de vérification de cet effet, en raison des vitesses considérables de déplacement des astres. Et là, l'étude du Soleil a apporté sa pierre à l'édifice théorique: « C'est aussi sur le Soleil que l'on put vérifier, pour la première fois, la concordance

---

[502] CORNU, Alfred, OBRECHT, A., « Etudes expérimentales relatives à l'observation photométrique des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, 96, 1883, p.1818.

[503] Voir à ce sujet : DORRIES, Matthias, «Balances, spectroscopes, and the Reflexive Nature of Experiment», *Studies in History and Philosphy of Science*, 25, 1994, p.1-36.

de ce déplacement avec sa valeur théorique »[504]. La rotation du Soleil, observée grâce aux taches depuis l'époque de Galilée, induit que l'un des bords du Soleil se rapproche de nous tandis que l'autre s'éloigne: la différence de vitesse radiale (observée selon le rayon Terre-Soleil) est ainsi de l'ordre de 4 km/s, soit 1/75 environ de la distance entre les raies D du sodium. D'abord étudié par l'astronome et physicien allemand Hermann Vogel en 1871, puis par l'américain Young en 1877, c'est l'astronome américain Samuel Langley qui va le premier songer à différencier les raies telluriques et les raies solaires par l'application de l'effet Doppler-Fizeau: contrairement aux raies solaires, les raies telluriques ne sont pas déplacées quand on passe d'un bord à l'autre du Soleil. Cependant, les méthodes expérimentales et le matériel utilisés sont encore inefficaces pour détecter la fixité prévue des raies telluriques: c'est là que Cornu va apporter des progrès décisifs. Dans son mémoire de 1886 consacré aux raies telluriques et paru dans les *Annales de Chimie et de Physique,* Cornu propose, outre trois méthodes d'observation, une manière efficace de régler un spectroscope qu'il appelle le «réglage aplanétique».

Sa première méthode consiste ainsi à observer simultanément le spectre des deux bords du Soleil. Cornu s'était vite aperçu que l'utilisation de demi lentilles pour amener les deux bords du Soleil à être tangents à la fente du spectroscope, induisait des parcours optiques différents, et par suite des aberrations gênantes. Il se servit alors d'un prisme biréfringent de Wollaston, dans lequel les faisceaux dédoublés traversent sensiblement les mêmes parties du cristal: « le prisme employé séparait les deux faisceaux d'un angle égal à 40'; il était placé sur un support fixe entre la lentille collectrice et la fente, dans la position qui rendait exactement tangentes les deux images du disque solaire, sous-tendant un angle de 32' environ[...] »[505]. On obtient ainsi deux spectres situés l'un sur l'autre, séparés par une ligne de démarcation:

<u>Fig. 2.3.8:</u> Méthode de détection des raies telluriques par Cornu.

<u>Source :</u> CORNU, Alfred, «Etude des raies telluriques α, B et A du spectre solaire», *Annales de Chimie et de Physique,* 1886; 6ème série, t.7, p.5-102.

Si cette méthode avait déjà été proposée par d'autres physiciens, l'apport de Cornu tient en fait dans la plus grande visibilité de cette brisure par le réglage aplanétique qu'il propose. En effet, la ligne de démarcation entre les deux spectres manquait fortement de netteté : l'innovation

---

[504] SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909, p.172.

[505] CORNU, Alfred, «Etude des raies telluriques α, B et A du spectre solaire», *Annales de Chimie et de Physique*, 1886; 6ème série, t.7, p.17

tient dans la recherche des tirages du collimateur et de l'oculaire, de façon à rendre nettes à la fois les raies verticales et la ligne horizontale, ceci en utilisant les stries horizontales provoquées par les irrégularités et les poussières de la fente.

La deuxième méthode de Cornu pour la distinction entre les raies telluriques et les raies solaires est appelée «méthode d'inclinaison des raies». Ayant remarqué que, le long d'un diamètre solaire, les raies solaires sont non seulement brisées par l'effet DF, mais également inclinées, l'observation du phénomène est possible si l'on réalise une image du disque solaire de très petit diamètre. Pour cela, Cornu utilise une lentille collectrice de très courte focale (0.08 m à 0.03 m).

Enfin, sa dernière méthode est la méthode du « balancement des raies ». Dans ce montage, la lentille collectrice est mobile dans un plan autour de l'axe du collimateur, ceci grâce à un organe cinématique constitué de crémaillères et de leviers. En faisant osciller le levier de la lentille collectrice, de manière à amener alternativement les deux bords équatoriaux du disque solaire tangentiellement à la fente, Cornu constate que les raies telluriques restent fixes, tandis que les raies solaires paraissent se balancer suivant le même rythme.

Quelles conclusions apporter à l'ensemble des travaux de Cornu en astronomie physique durant cette période ? Tout d'abord, Cornu est guidé par un projet d'unité des sciences, et de simplicité instrumentale. Nous avons déjà remarqué que son souci était l'ordre et la clarté dans la compréhension des phénomènes plus qu'une quête du neuf et de l'originalité. Il s'agit avant tout de refaire les expériences de ses prédécesseurs, rechercher les erreurs instrumentales qui peuvent elles-mêmes susciter de nouvelles méthodes. En cela, nous allons dans le même sens que Charlotte Bigg lorsqu'elle écrit que « Pour Cornu, les instruments étaient nécessairement imparfaits, et les sources d'erreurs instrumentales devaient étudiées de façon à être contrôlées ou inversement à découvrir et exploiter des effets intéressants que les imperfections pouvaient produire »[506]. Cornu est un physicien opticien qui ambitionne de faire vivre l'héritage de Fresnel ; il écrit par exemple dans ses premiers travaux sur la réflexion cristalline qu'il est parvenu à « reconstituer une théorie de la réflexion cristalline d'après les principes de Fresnel »[507]. On ne peut, dès lors, que constater une rupture entre lui et Janssen. En effet, Cornu a largement investi des domaines où Janssen s'était montré le précurseur, en renouvelant les approches : quand Janssen progresse par l'image via la photographie, Cornu

[506] BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.35.
[507] CORNU, Alfred, « Théorie nouvelle de la réflexion cristalline d'après les idées de Fresnel », *CRAS*, t.63, 1866, p.1058.

développe une métrologie pour lui nécessaire. On peut sentir ici la fin d'une époque et le début d'une autre, avec Janssen en arrière-plan, lorsque Cornu écrit : « outre les qualités de précision et de netteté, ces belles planches [représentant le spectre solaire dans la partie ultra-violette]ont un autre mérite, celui de conduire les physiciens et les astronomes à adopter l'échelle des longueurs d'onde, pour la définition des raies et des radiations, au lieu des échelles arbitraires introduites par les premiers spectroscopistes. »[508] Mais l'élaboration de standards de longueurs d'onde ne signifie pas pour Cornu la standardisation du matériel, au contraire d'un Pickering pour qui Lankford et Slavings écrivent que la « standardisation est un aspect important de la Big Science. Dans l'économie industrielle américaine, la production de masse signifiait que des machines équivalentes fabriquent des produits équivalents. Les jours étaient révolus d'un artisan isolé pour qui chaque produit était unique. La production de masse de données astronomiques reflétaient les pratiques de l'économie industrielle, où des méthodes standardisées entraînaient des produits standardisés. »[509] Charlotte Bigg a montré la même approche chez Henry Rowland, tout en notant la particularité française incarnée par Fabry et Pérot dans leur opposition concernant l'élaboration de standards de longueurs d'onde : ces derniers, héritiers de Cornu sur qui nous reviendrons, vont développer une métrologie « procédurière », à chercher à diffuser des méthodes, et mettre l'accent sur le besoin d'un personnel habile et entraîné. Ils refusent un matériel type « boîte noire » que Rowland développe, ce dernier cherchant pour sa part à diffuser non des méthodes mais des appareils calibrés, fabriqués de façon industrielle, incarnant une autre métrologie, technique, industrielle et commerciale. Cornu, héritier de Fresnel et Fizeau, puis dépositaire de cet héritage auprès des Fabry, Pérot et Deslandres, façonne une astrophysique métrologique et fresnélienne.

2.3.2 Collaborations spectroscopiques et photométriques : Thollon, Gouy, Egoroff

Si Cornu abandonne l'équatorial de la Tour de l'Est à la fin des années 1870 pour les raisons que nous avons évoquées, l'appareil sera vite utilisé par d'autres savants. C'est le cas en

---

[508] CORNU, Alfred, « Sur le spectre normal du Soleil, partie ultraviolette », *Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t.3, 1874, p.421.
[509] LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940», *Physics Today*, 49, 1996, p.37.

particulier de Louis Thollon. Issu d'une famille pauvre d'Ambronay[510] dans le département de l'Isère, Thollon va connaître un parcours hors du commun. Fils de jardinier, Thollon, dont le frère, curé de Mirecourt, est chargé d'enseignement à la Sorbonne, est à 15 ans surveillant d'internat, puis professeur à Sainte-Foy-les-Lions. Suite à un concours, il devient le précepteur des enfants et neveux du Prince d'Oldenbourg et s'installe à Saint-Petersbourg, de 1861 à 1873. Lors des voyages qu'il effectue auprès de ses élèves, il rencontre le père Secchi à Rome ; son élève, le Prince Nicolas, lui fait également don d'une lunette de 11 cm. En 1873, malgré les insistances de la Cour Impériale, Thollon revient en France, à Ambronay, et se consacre à l'astronomie, et notamment à la réalisation d'un spectroscope[511]. C'est pourtant à Paris que Thollon va développer complètement son appareil, dans les laboratoires de physique de la Sorbonne, de l'Ecole Normale et du Collège de France (en 1878 et 1879, ses notes à l'Académie des Sciences sont d'ailleurs présentées par Desains). Son but est alors de construire un appareil permettant la lecture puis la mesure précise des raies du spectre solaire, en vue de la réalisation d'un atlas du spectre solaire destiné à faciliter les recherches ultérieures dans le domaine de l'astronomie physique. Et c'est en Italie, dans l'observatoire privé du Prince Nicolas d'Oldenbourg situé à San Remo, que Thollon va réaliser en moins de trois mois un spectre solaire long de plus de 10m, contenant à peu près 4 000 raies entre A et H, performance extraordinaire pour l'époque. Son dispositif apparaît dans un article d'Adrien Guébhard dans *La Nature* en 1879 :

<u>Fig. 2.3.9:</u> Spectroscope à vision directe de Thollon

<u>Source :</u> GUEBHARD, Adrien, « Le spectroscope et des derniers perfectionnements», *La Nature*, 1879, 2ème semestre, p.223-226.

Son spectroscope présente un certain nombre d'innovations[512]. Tout d'abord, il s'agit bien d'un spectroscope à vision directe, la collimatrice et la lunette oculaire pointant la même

---

[510] *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Thollon. On y trouve notamment un article du *Dauphiné Libéré* du 17 mars 1987, écrit à l'occasion d'un don du buste de Thollon à la commune d'Ambronay par la famille Dubulle (descendante de Thollon). On peut aussi consulter : une notice biographique de Thollon rédigée par Raymonde Barthalot : http://www.obs-nice.fr/histoire-nice/thollon.htm ; LEVY, J., « Louis Thollon », *Dictionary of Scientific Biography*, Ed. Charles Scribner's sons, New York, 1970-76 ; JANSSEN, J., *CRAS*, t.104, 1887, p.

[511] Sur le travail spectroscopique de Thollon, voir : HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p.135-139.

[512] En plus de l'article d'Adrien Guébhard dans *La Nature*, voir : THOLLON, Louis, « Nouveau spectroscope à vision directe », *CRAS*, t.86, 1878, p.329-331 ; « Théorie du nouveau spectroscope à vision directe », *CRAS*, t.86, 1878, p.595-598.

direction. Ensuite, Thollon utilise quatre cuves, comprenant en tout deux prismes contenant du sulfure de carbone, et deux demi-prismes également en sulfure de carbone, auxquels sont accolés deux prismes ordinaires à réflexion totale. Ainsi, après avoir traversé les prismes deux fois (une fois sur leur partie supérieure et une fois sur leur partie inférieure), le faisceau ressort parallèle à lui-même avec un déplacement en hauteur. A l'aide d'un système de ressorts et d'engrenages, une simple vis permet de maintenir au minimum de déviation l'ensemble des prismes. Enfin, cette même vis assure une inscription presque automatique des raies, rappelant à nouveau l'importance du désengagement physique de l'observateur vue lors du passage de Vénus ou lors de la mesure de la vitesse de la lumière par Cornu : « La tête de cette vis porte, dans une gorge analogue à celle des récepteurs télégraphiques, une bande de papier sans fin, qui pend de part et d'autre verticalement, tendue à la partie inférieure par le poids d'une autre poulie égale, à axe libre. Un crayon, sous la dépendance d'une manette M, peut, à chaque arrêt, tracer un trait sur le papier. »[513] Fort de ce succès instrumental et métrologique, Thollon est « invité par M. le Contre-Amiral Mouchez à faire des études sur la construction d'un spectroscope stellaire et sur les moyens d'arriver à des résultats plus satisfaisants «[514]. Le problème qui se pose lorsque l'on passe d'étude du Soleil à celle des étoiles est la faible quantité de lumière : c'est ce que Thollon va chercher à résoudre, en utilisant notamment la formule de Fresnel donnant la quantité de lumière réfléchie par un dispositif optique. Pour un prisme d'Amici (constitué de deux prismes en crown et un prisme en flint), Thollon évalue cette perte à 57%. Thollon met au point un dispositif très proche du prisme d'Amici, mais constitué de deux prismes en crown entourant un prisme contenant un mélange d'éther et de sulfure de carbone et aboutit à 37% de lumière réfléchie, ce qui « n'est pas sans importance ». De plus, son système forme un couple[515], ce qui fait que son appareil est au minimum de déviation et la dispersion est constante, ce qui constitue bien évidemment un atout considérable sur un plan métrologique.

Thollon semble recevoir un appui inconditionnel de Mouchez. Après son étude sur un spectroscope stellaire, qu'il prolonge par un travail approfondi sur le spectre des étoiles,

---

[513] GUEBHARD, Adrien, « Le spectroscope et des derniers perfectionnements », *La Nature*, 1879, 2ème semestre, p.224.

[514] THOLLON, Louis, « Sur un nouveau spectroscope stellaire », *CRAS*, t.89, 1879, p.750.

[515] Thollon, dans une note précédente, met en évidence la notion de couple. Pour lui, un couple est « un système de deux prismes ABC, A'B'C', de même substance, dont les angles réfringents A, A' sont égaux, dont les arêtes sont parallèles, et qui sont orientés de manière à dévier dans le même sens les rayons lumineux. » Il démontre que, pour un tel couple, si l'incidence et l'émergence des rayons lumineux sont normales, la dispersion est « constante dans toute l'étendue du spectre, qui conserve alors une parfaite proportionnalité, soit sous le rapport de son développement, soit sous le rapport de l'intensité. » « Théorie du nouveau spectroscope à vision directe », *CRAS*, t.86, 1878, p.595-598.

Thollon reprend « possession de l'installation que M. l'amiral Mouchez a eu l'obligeance de [lui] réserver à l'Observatoire de Paris »[516], ceci de juillet à octobre 1880, de façon à profiter de l'intense activité que manifeste le Soleil. Son travail va consister à dessiner le plus fidèlement possible les protubérances à la surface solaire. Cependant, aucune photographie des protubérances n'est alors possible à cette époque, ce qui conduit Thollon à écrire qu' « on remarque dans les protubérances des détails si nombreux et si variables, qu'une reproduction fidèle par le dessin est tout à fait impossible. La Photographie seule pourrait donner à ces reproductions un caractère vraiment scientifique .»[517] Chez Thollon, la photographie n'est pas perçue comme un obstacle à l'objectivité scientifique, mais bien comme un outil de représentation fidèle.

Fig. 2.3.10: Dessins des protubétrances solaires par Thollon, à l'OP, les 10 août et 19 septembre 1880

Source : THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques faites sur le Soleil, à l'Observatoire de Paris », *CRAS*, t.91, 1880, p. 656-660.

Thollon est alors confronté au problème de la position géographique de l'OP. Pour améliorer la qualité de ses observations, Thollon, avec l'appui de Mouchez, se propose de continuer à l'observatoire de Nice, où Bischoffsheim l'accueille favorablement pour développer l'astronomie physique dans observatoire nouvellement créé, mais encore loin d'être définitivement installé[518]. Mais Thollon va encore travailler à l'OP avant de s'installer à Nice. En juin et juillet 1881, il utilise l'équatorial de la Tour de l'Est pour y réaliser l'étude spectrale des comètes b et c 1881[519]. Il publie dans *La Nature* les spectres qu'il a obtenus :

Fig. 2.3.11: Spectres des comètes b et c 1881 obtenus par Thollon à l'OP en juin et juillet 1881

Source : THOLLON, Louis, « Analyse spectrale des comètes B et C 1881 », *La Nature*, n°429, 20 août 1881, p.177-178.

---

[516] THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques faites sur le Soleil, à l'Observatoire de Paris », *CRAS*, t.91, 1880, p. 656.
[517] *Ibid.*, p.657.
[518] Les éléments que nous avons consultés sur l'observatoire de Nice sont sur : http://www.obs-nice.fr/histoire-nice/index.html . On y trouve également une bibliographie sur l'histoire de cet observatoire.
[519] THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques sur les comètes b et c 1881 », *CRAS*, t.93, 1881, p.383-384 ; « Analyse spectrale des comètes B et C 1881 », *La Nature*, n°429, 20 août 1881, p.177-178.

A cette occasion, Thollon constate que le spectre des comètes est un spectre de bandes se rapprochant du spectre du carbone. Mais il s'étonne surtout du fait que ce spectre ne varie pas au cours du temps, ce qui va à l'encontre de l'idée communément admise voulant que les comètes sont portés à l'incandescence par l'action calorifique du Soleil: il ne peut qu'émettre l'hypothèse que la lumière des comètes est une lumière propre provenant soit d'une chaleur propre à celles-ci, soit d'une action mécanique, soit d'une action électrique. Concernant ce dernier point, il précise que « si l'électricité était la cause réelle et unique des phénomènes observés, on serait malheureusement dans l'impossibilité d'en donner la démonstration, faute d'une théorie électrique. »[520] Ce problème sera largement repris par Henri Deslandres quelque dix ans plus tard, notamment sous l'influence d'idées émises par Fizeau.

L'année suivante, Thollon va s'associer avec le physicien Georges Gouy pour une nouvelle observation cométaire[521]. Dans une série d'articles[522], les deux hommes décrivent les observations spectroscopiques de la comète Cruls, et relatent leurs travaux de photométrie solaire. Le 18 septembre 1882, à Nice, Thollon et Gouy utilisent une lunette horizontale à Nice (objectif de 24,4cm et 6m de distance focale, et un miroir plan « tout semblable aux sidérostats de la Commission de Vénus »[523]), à laquelle était ajoutée un spectroscope de Steinheil à un prisme de 60° en flint très dispersif. Ils en déduisent un certain nombre de caractères physiques de la comète Cruls : spectre de la lumière diffuse de notre atmosphère, donnant les raies de Fraunhofer, auquel se superpose un spectre continu étroit et brillant donné par le noyau de la comète. Ils constatent alors que les raies du sodium sont données et par les raies de Fraunhofer, et de façon par le noyau de la comète. Ceci établit de façon indiscutable la présence du sodium dans le noyau, mais ils observent surtout que les raies du sodium données par le noyau sont légèrement décalées par rapport aux raies de Fraunhofer

---

[520] THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques sur les comètes b et c 1881 », *CRAS*, t.93, 1881, p.384.

[521] Gouy s'est occupé de nombreux sujets de physique à la fin du XIX^{e} et au début du XX^{e} siècle. En 1879, il réalise des études photométriques sur les flammes colorées. En 1888, il s'intéresse à la pression osmotique et montre également que le mouvement brownien est indépendant de la température, et correspond donc à une conséquence de l'agitation moléculaire. Dans les années 1890, il met au point un électromètre capillaire, étudie la réfraction et la diffraction des rayons X. Ce fut un proche de Pierre Curie. Il est nommé professeur à la faculté des sciences de Lyon en 1883, obtient le prix Lacaze en 1905 et est élu membre non résident de l'Académie des Sciences en 1913. Anna Hurwic écrit de lui que aussi peu attiré que Curie par la vie sociale et que, malgré leur originalité et leur profondeur, ses travaux n'on jamais « dépassé le cercle limité des spécialistes. Gouy n'inventa pas de théories nouvelles, mais permit d'étendre les anciennes théories aux domaines frontières non encore exploités, de trouver des interprétations des phénomènes nouveaux dans le cadre des théories connues ». HURWIC, Anna, *Pierre Curie*, Flammarion, Paris, 1995, p.185.

[522] THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Sur une comète observée à Nice », *CRAS*, t.95, 1882, p. 555-557 ; « Observations spectroscopiques sur la grande comète (*Cruls*) «, *CRAS*, t.95, 1882, p. 712-714 ; « Mesures spectrophotométriques en divers points du disque solaire », *CRAS*, t.95, 1882, p. 834-836 ; « La grande comète (Cruls). Observations spectroscopiques », *La Nature*, n°492, 4 novembre 1882, p. 353-354 ; « Sur le déplacement des raies du sodium», *CRAS*, t.96, 1883, p. 371-372.

[523] THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Sur une comète observée à Nice », *CRAS*, t.95, 1882, p. 556.

correspondantes : une mesure de la vitesse radiale de la comète est alors possible. Quelques mois plus tard, ils annoncent que la comète, à ce moment là, s'éloignait de la Terre à la vitesse de 73km/s, chiffre corroboré par les éléments de la trajectoire de la comète calculée par Bigourdan. Ainsi, leur analyse apportait un nouvelle confirmation de l'effet DF.

Cette observation cométaire leur apportera aussi certains problèmes d'interprétation : si les raies du sodium sont les seules visibles le 1er décembre, ce n'est plus le cas le 9 octobre où ces raies ont disparu, remplacées par celles du carbone. Puis le 16 octobre le spectre intégral de la comète ne montre plus aucune trace de bandes. A ce moment, Thollon et Gouy sont « [ramenés] à la théorie électrique des comètes. On sait en effet que, si l'on fait traverser un carbure gazeux par l'effluve électrique d'une machine de Holtz, dépourvue de condensation, le gaz s'illumine et donne les bandes du carbone ; s'il tient en suspension, sous forme de poussières, des composés métalliques quelconques, il donnera toujours les mêmes bandes sans montrer aucune raie des métaux tenus en suspension. Il se passe probablement quelque phénomène analogue dans les comètes qui, sous le rapport de la constitution chimique, ne présenteraient plus dès lors d'anomalies choquante et ne différeraient pas des autres corps du système solaire »[524]. L'observation doit donc se plier aux expériences de laboratoire, par le principe de l'unité de l'univers souvent invoqué par Cornu ou Janssen, tandis qu'une compréhension plus grande des phénomènes électriques semble devenir de plus en plus nécessaire.

Au même moment, en juillet 1882 à l'OP puis en septembre à Nice, Thollon et Gouy réalisent des expériences de spectrophotométrie sur différents points du disque solaire : « Ces mesures avaient pour objet de rechercher la loi de variation du rayonnement solaire en fonction de la distance du point considéré au centre du disque et en fonction de la longueur d'onde des rayons considérés. »[525] Gouy trouve ici, dans l'observatoire vu comme un lieu de science privilégié, une occasion de valoriser et d'exploiter le photomètre qu'il a mis au point en 1879.[526]

---

[524] THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Observations spectroscopiques sur la grande comète (*Cruls*) «, *CRAS*, t.95, 1882, p.714.

[525] THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Mesures spectrophotométriques en divers points du disque solaire », *CRAS*, t.95, 1882, p. 834-836

[526] GOUY, Georges, « Recherches photométriques sur les flammes colorées », *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t.18, 1879, p.5-101.

Dans son article de 1879[527], on observe que Gouy et Thollon sont déjà en contact : la disposition de son appareil est issue de la théorie de Thollon sur les couples que nous avons vue plus haut. De plus, c'est Thollon qui lui fournit les prismes au sulfure de carbone qu'il utilise. Son dispositif permet alors de mesurer l'éclat d'une source lumineuse par comparaison avec une source dont l'éclat est modulé par deux nicols. Un miroir permet d'observer sur sa partie supérieure la source de référence tandis qu'il montre sur sa partie inférieure la source à mesurer. L'égalité des éclats est obtenue en faisant varier la polarisation de la source de référence à l'aide des nicols. Les deux prismes A et B permettent quant à eux de disperser la lumière des deux sources tandis qu'une fente, après les prismes, isole la région spectrale souhaitée : son dispositif est bien un spectrophotomètre.

Leur dispositif est alors associé au même objectif que précédemment, à savoir 24cm d'ouverture et 6m de distance focale, utilisé avec une fente de hauteur inférieure à 0,1mm et de largeur encore plus faible, telle qu'une mesure était possible sur la 200 000^{e} partie du disque solaire. Les mesures réalisées dans des régions spectrales dépourvues de raies solaires et concernant donc le fonds continu du spectre, visent des données relatives, sur le disque solaire et les taches. Ils arrivent à la conclusion que « le rayonnement décroît en approchant du bord, d'autant plus que les rayons sont plus réfrangibles, ce qui est bien en accord avec la teinte rougeâtre que présente le bord du Soleil. »[528] Par la suite, Thollon et Gouy collaboreront à nouveau, notamment en 1882 lorsqu'ils iront observer, avec l'appui de Bischoffsheim, le passage de Vénus à Avila en Espagne, avec, pour objectif, l'étude spectroscopique de l'atmosphère de Vénus. Thollon, pour sa part, sera à nouveau missionné par Mouchez, lorsqu'en 1883 il montera au Pic-du-Midi avec Charles Trépied : les deux astronomes vanteront la qualité exceptionnelle du site, engageant ainsi Mouchez à créer une station d'altitude pour les astronomes parisiens.[529]

---

[527] Gouy s'est déjà occupé de cette qestion. En 1879 et 1880, il publie deux note dans les *CRAS* concernant la mesure de l'intensité des raies d'absorption du spectre solaire. Il y écrit déjà que « L'intensité des raies obscures n'a pas été jusqu'ici l'objet de mesures photométriques ni même de définitions précises. Ce sujet présente pourtant beaucoup d'intérêt ; on sait, en effet, que les raies du spectre solaire varient d'intensité, soit avec la région du Soleil que l'on considère, soit avec le chemin parcouru par les rayons dans l'atmosphère terrestre. De même, le renversement des raies métalliques dans les expériences de laboratoire mérite une approfondie qui exige des mesures photométriques. », « Sur la mesure de l'intensité des raies d'absorption et des raies obscures du spectre solaire », *CRAS*, t.89, 1879, p.1033. Il semble que les premières mesures qu'il effectue lui donnent l'idée d'identifier de façon photométrique les raies telluriques. Voir « Mesure de l'intensité de quelques raies obscures du spectre solaire », *CRAS*, t.91, 1880, p.383.

[528] *Ibid.*, p.836.

[529] DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, CNRS Editions, Paris, 2000, p.57.

Enfin, dans la revue des expériences ou observations réalisées à l'OP, on peut encore citer les travaux de Nicolas Egoroff, un physicien polonais, professeur à Varsovie. Ce dernier s'intéresse depuis le printemps 1879 à la recherche des raies telluriques, travaux dont Janssen, nous l'avons vu, est le précurseur[530]. Egoroff cherche donc à poursuivre ces travaux et ceux d'Angström : « On a déjà fait des travaux très importants sur les raies telluriques du spectre solaire, mais le complément nécessaire de ces travaux est la détermination exacte des éléments de l'atmosphère qui produisent chacune de ces raies »[531]. En effet, il s'agit de déterminer l'origine chimique de chaque raie tellurique : vapeur d'eau, azote, oxygène, ozone,…Egoroff note au passage la difficulté d'œuvrer dans ce domaine, chasse gardée du maître Janssen, celui-ci ayant pourtant laissé un travail inachevé quelque quinze ans auparavant : « Or, M. Janssen, dans sa mémorable expérience de la Villette, en 1866, a étudié les phénomènes d'absorption de ce corps ; il a donné un résumé des résultats qu'il a obtenus en annonçant la publication ultérieure des résultats définitifs. Cette publication, qui n'a pas encore été faite, serait certainement précieuse pour tous les spectroscopistes et comblerait une lacune d'autant plus regrettable qu'il y a là en quelque sorte une question réservée. »[532]

Quoi qu'il en soit, Egoroff va travailler sur le sujet durant l'année 1881, à nouveau « grâce à la bienveillante intervention de M. le Directeur de l'Observatoire de Paris, et à l'obligeance de M. le colonel Mangin »[533]. Il va utiliser pour cela l'équatorial de la Tour de l'Est et un réseau de diffraction de Chapmann pourvu de 17290 raies par pouce, ainsi qu'un projecteur Mangin délivrant une lumière intense depuis le Mont Valérien et observée à l'OP. Et c'est avec Thollon qu'Egoroff va travailler : « Toutes les observations et déterminations ont été faites en commun avec M. Thollon, qui s'est empressé de mettre à ma disposition, pour ces observations délicates, son expérience et ses appareils. »[534] Finalement, Egoroff va conclure de ces expériences que :

- le spectre d'absorption de la vapeur d'eau varie avec la pression.
- les groupes A et B du spectre solaire sont des groupes telluriques. Le groupe A en est le plus fondamental.

---

[530] Les travaux d'Egoroff sur ce sujet sont réunis dans quatre communications dans les *CRAS* : « Recherches sur les raies telluriques du spectre solaire », *CRAS*, t.93, 1881, p.385-387 ; « Recherches sur le spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre », *CRAS*, t.93, 1881, p.788-790 et t.95, 1882, p.447-449 ; « Sur la production des groupes telluriques fondamentaux A et B du spectre solaire par une couche absorbante d'oxygène, *CRAS*, t.97, 1883, p.555-557.

[531] EGOROFF, N., « Recherches sur le spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre », *CRAS*, t.95, 1882, p.448.

[532] *Ibid*., p.449.

[533] EGOROFF, N., « Recherches sur le spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre », *CRAS*, t.93, 1881, p.788.

[534] EGOROFF, N., « Recherches sur le spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre », *CRAS*, t.95, 1882, p.448.

On observe donc à cette époque une forte concurrence sur un domaine très restreint de l'astronomie physique : la spectroscopie solaire et la part de l'atmosphère terrestre dans l'existence des raies d'absorption. Au début des années 1880, Cornu puis Egoroff s'emparent d'un sujet que Janssen semble avoir délaissé pour s'occuper de photographie solaire. Est-ce pour cela qu'il réinvestit ce champ d'études ? Quoi qu'il en soit, Janssen publie à chaque fois des notes dans les *CRAS* visant à établir la priorité de ses recherches et la part qui lui revient[535]. Et, tout en imposant son travail, il s'impose à nouveau dans cette course scientifique par l'étude du spectre de l'oxygène et de l'influence de la pression sur sa production : il y va en effet de la crédibilité et du rayonnement de l'observatoire de Meudon (voir chapitre 2.2).

En conclusion, que peut-on dire des travaux en astronomie physique réalisés autour de l'OP ? Loin d'être négligeables, ceux-ci sont à l'origine d'un certain nombre de publications. Mais, pour reprendre l'expression de Thollon, l'Astronomie Physique est seulement « invitée » à l'Observatoire de Paris : elle est l'hôte d'un lieu qui ne met pas à sa disposition un matériel qui lui serait entièrement consacré. Cet aspect a de l'importance lorsque l'on met en parallèle l'ambition de Janssen : lors du Conseil de l'observatoire de Meudon du 27 janvier 1885, alors que Liard, directeur de l'enseignement supérieur, suggère de transférer à Meudon le pied inutilisé d'une grande lunette que possède l'OP, Janssen s'y oppose. Pour lui les deux branches de l'astronomie doivent s'équiper toutes les deux, et indépendamment[536]. Ainsi apparaissent deux approches du développement de l'astronomie physique : à Meudon le matériel doit être spécialisé, à usage unique, tandis qu'à Paris, le matériel est partagé avec la vieille astronomie et utilisé par des savants qui, « invités » par Mouchez, effectuent ponctuellement des travaux d'astronomie physique, sans qu'un service actif soit en fonctionnement[537].

Si l'on ne peut parler d'une communauté d'astronomes physiciens à l'OP, au moins peut-on dégager un groupe qui partage des appareils et des méthodes[538]. Ainsi Hentschel fait-il

---

[535] JANSSEN, Jules, « Note sur les raies telluriques et le spectre de la vapeur d'eau », *CRAS*, t.95, 1882, p.885-890 ; « Spectres telluriques », *CRAS*, t.101, 1885, p.111-112 ; « Analyse spectrale des éléments de l'atmosphère », *CRAS*, t.101, 1885, p.649-651 ; « Sur les spectres d'absorption de l'oxygène », *CRAS*, t.102, 1886, p.1352-1353 et t.106, *CRAS*, t.106, 1888, p.1118-1119.

[536] *AN*, F17 3745.

[537] Hormis Cornu, Thollon, Gouy et Egoroff, on pourrait encore citer Charles Wolf., dont nous avons regardé les travaux au chapitre 1.3.

[538] La Société française de Physique semble représenter un lieu privilégié de rencontres, au moins pour Thollon et Cornu, et dans une moindre mesure pour Gouy : ils y présentent leurs appareils et leurs résultats à de fréquentes reprises. Nous nous basons sur les comptes rendus des séances de cette société faits dans *La Nature*.

remarquer l'influence de Cornu sur Thollon : « Alors que la carte d'Angström a servi de gabarit pour Cornu, de la même façon celle de Cornu a servi de modèle pour Louis Thollon.»[539] Mais Cornu va également se servir des innovations de Thollon ; en effet, dans sa recherche des raies telluriques du spectre solaire va délaisser la méthode habituelle d'observation des raies lorsque le Soleil est au zénith et lorsqu'il est à l'horizon au profit de la méthode différentielle imaginée par Thollon, à savoir l'observation d'une même raie simultanément sur les deux bords de l'équateur solaire, un bord se rapprochant, l'autre s'éloignant de l'observateur à cause de la rotation solaire. Ceci permet à Cornu d'augmenter l'efficacité de sa recherche mais surtout d'asseoir et de prouver l'effet étudié par Fizeau, du déplacement des raies en fonction du mouvement relatif de la source et de l'observateur : « Dans l'intervalle de ces observations, utilisant l'admirable spectre que j'avais sous les yeux, j'exécutai divers essais, en particulier l'expérience du déplacement relatif des raies solaires et telluriques décrites par M. Thollon, déplacement qui démontre conformément au principe de M. Fizeau, le mouvement de rotation du globe solaire »[540]. Les références à Fresnel et à Fizeau sont constantes, à la fois dans l'élaboration des méthodes et dans la construction des appareils. Cornu est, comme nous l'avons déjà vu, le gardien du temple fresnélien et le continuateur de l'oeuvre que nous appellerons 'fizaldienne', en référence à Fizeau. Ce qui amènera également des tensions entre Cornu et Gouy. En effet, en 1880, Gouy tente d'expliquer la polarisation rotatoire de façon plus simple que Fresnel. Il écrit à ce sujet :

> Dans ses travaux sur la polarisation rotatoire, Fresnel a souvent pris pour guide une hypothèse bien connue sur la constitution optique des milieux actifs, sans toutefois, à ce qu'il semble, y voir autre chose qu'une interprétation analytique des faits d'expérience. Ce point de vue le conduisit à la découverte de la double réfraction circulaire. Depuis lors, on a souvent regardé ce phénomène comme donnant une preuve expérimentale de la réalité de l'hypothèse qui l'a fait découvrir. Je me propose d'en donner ici une théorie indépendante de toute hypothèse ; il en résultera que cette opinion est mal fondée.[541]

Puis dans une nouvelle note : « Dans une Note récente, j'ai montré qu'on peut faire la théorie des phénomènes produits par les milieux actifs en se plaçant à un autre point de vue différent de celui de Fresnel, et qui lui est équivalent. Dans les expériences d'interférence, ce point de vue l'emporte en simplicité sur celui de Fresnel, dont l'application devient assez délicate pour

---

[539] HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p.135.
[540] CORNU, Alfred, «Etude des raies telluriques α, B et A du spectre solaire», *Annales de Chimie et de Physique*, 1886, 6ème série, t.7, p.14.
[541] GOUY, Georges, « Sur la théorie de la double réfraction circulaire », *CRAS*, t.90, 1880, p.992-993.

avoir pu donner lieu à une méprise […] »[542]. Gouy récidive la même année son attaque de l'héritage fresnélien, en tentant de donner une nouvelle signification de la vitesse de la lumière. Cornu monte tout de suite au créneau pour défendre la construction théorique dont il se sent le dépositaire : « l'auteur, il y a quelques mois […], a contesté un peu légèrement la réalité de l'admirable découverte de Fresnel sur la double réfraction circulaire. Les conclusions alors énoncées n'ont pas plus de fondement que celles que l'on réfute aujourd'hui »[543]. Gouy tentera de se défendre d'avoir voulu donner « une nouvelle définition de la lumière, ni d'objections aux expériences de Fizeau […] » et tentera de montrer qu 'il a fait « preuve de […] respect pour la mémoire de ce grand homme [Fresnel], en étudiant son œuvre avec toute l'attention qu'elle mérite »[544]. Nous ne rentrerons pas plus dans le détail de cette polémique : le plus intéressant est ici l'illustration d'un caractère fort du groupe de physiciens qui a investi les études d'astronomie physique à cette époque, et le rôle important qu'a joué Cornu dès cette époque. Le cadre d'études est l'héritage fresnélien (importance de l'optique géométrique notamment, et de l'instrumentation), ainsi que les méthodes imaginées par Fizeau (effet DF, étude du renversement des raies, mesure de la vitesse de la lumière, utilisation de la photographie, importance de la métrologie[545]). Il apparaît alors remarquable de voir que ces physiciens, régulièrement employés par Mouchez à l'OP, se positionnent sur les mêmes sujets que ceux sur lesquels Janssen a construit sa légende et continue de s'engager : on ne peut que constater la simultanéité de publications concernant l'identification des raies telluriques, la spectroscopie solaire, la photométrie par exemple. Il s'agit ainsi de revendiquer une présence dans un champ qui émerge, tout en imposant une culture, une approche des phénomènes, et des méthodes instrumentales qui se comprennent dans un héritage précis. Cornu commence alors à devenir un personnage important de l'astronomie française : alors qu'il est professeur de physique à l'Ecole Polytechnique depuis 1867, Cornu devient membre du Conseil de l'OP le 23 février 1875 (il en est son secrétaire) et membre de l'Institut le 3 juin 1878. Cette même année, il obtient le prix Lacaze et la médaille Rumford, et fait Chevalier la Légion d'Honneur. Le 6 mars 1886, il devient membre du BdL,

[542] GOUY, Georges, « Sur la théorie des phénomènes d'interférence où intervient la polarisation rotatoire », *CRAS*, t.90, 1880, p.1121.
[543] CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de propagation de la lumière », *CRAS*, 91, 1880, p.1020.
[544] GOUY, Georges, « Sur la vitesse de la lumière », *CRAS*, t.92, 1881, p.34-35.
[545] Guébhard, dans l'article qu'il consacre aux travaux spectroscopiques de Thollon, note bien la différence et la rupture que constitue l'approche métrologique de Thollon par rapport aux travaux précédents : « […] en dehors des nombres de vibration, il ne saurait y avoir rien de précis dans l'étude spectrale, et c'est faute de pareils repérages que tant de si belles recherches sur les corps célestes ou terrestres, ou sont restées sans résultats immédiats, ou bien ont donné naissance à des inductions téméraires. », GUEBHARD, Adrien, *op.cit.*, p.224. On ne peut que rapprocher cette citation de celle de Cornu déjà relevée plus haut à propos des « échelles arbitraires introduites par les premiers spectroscopistes. »

et apparaît également parmi les membres du Conseil de l'observatoire de Meudon[546] et du Conseil de l'observatoire de Nice. Il sera élu membre honoraire de nombreuses sociétés savantes, comme la Société des Spectroscopistes Italiens, la Société Royale de Londres, la Société Royale Astronomique de Londres. Et nous verrons plus loin qu'il sera président de la Société française de Physique et de la Société Astronomique de France (juste après Janssen, de 1897 à 1899), et membre du comité éditorial de l'*Astrophysical Journal* lors de sa fondation par George Ellery Hale en 1895.

[546] *AN*, F17 3745.

2.4 L’expertise spectroscopique de Henri Deslandres

2.4.1 De l’Ecole Polytechnique à la recherche scientifique, en passant par l’armée

C'est sous la direction de Cornu que Henri Deslandres (1853-1948) commence sa carrière scientifique. Il peut paraître étonnant que ce physicien, qui deviendra une figure marquante de l'astronomie française du XX^{ème} siècle, n'ait pas fait l'objet d'une biographie approfondie. Pourtant, sa formation, son parcours et ses influences seront déterminantes pour l'AP française : héritier d'une tradition que nous nous attachons à décrire, il va lui-même former des astronomes comme Bernard Lyot ou Lucien d'Azambuja, et ouvrir la porte de l’observatoire de Meudon à des physiciens comme Alfred Pérot et Jean Bosler. Mais hormis les articles récents d'Audoin Dollfus sur la construction par Deslandres du spectrohéliographe[547], aucune publication ne lui a été exclusivement consacrée, et les seuls renseignements disponibles proviennent de notices biographiques écrites après sa mort ou à l'occasion de remises de prix[548].

« Henri Deslandres était né à Paris le 24 juillet 1853. Comme beaucoup de familles parisiennes, la sienne avait des origines provinciales : ses parents, des industriels d'Elbeuf, étaient de souche normande et son caractère, à la fois indépendant et original, énergique et tenace, avec cela fort ennemi des sentiers battus, reflétait admirablement les qualités particulières aux vieux conquérants de cette belle région de la France et aussi de bien d'autres

---

[547] DOLLFUS, Audoin « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l’épopée d’une recherche», *L’Astronomie*, février et mars-avril 2003, p.68-74 et p.148-153, mars-avril 2005, p.150-159.

[548] d'AZAMBUJA, Lucien, « Henri Deslandres», *L'Astronomie*, 1948, p.179-184 ; DYSON, F.W., «Society business : Gold Medal of the Society, awarded to M. Henri Alexandre Deslandres, for his investigations of solar phenomena and other spectroscopic work», Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol.73, 02/1913, p.317-329 ; MICHARD, R., «DESLANDRES, Henri», *Dictionnary of Scientific Biography*, New-York, Ed. Charles Scribner’s son, Charles Gillipsie, (ed.), vol.4, 1971, p.68-70 ; MOORE, J.H., «Address of the retiring President of the Society in awarding the Bruce Gold Medal to M. Henri Alexandre Deslandres», *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.23, n°192, avril 1921 ; STRATTON, F.J.M, «Henri Alexandre Deslandres», Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol.109, 00/1949, p.141-144 ; LYOT, Bernard, *Funérailles de Henri Deslandres*, Hendaye, Imprimerie de l'Observatoire de Paris, 1948 ; BOSLER, Jean, «Henri-Alexandre DESLANDRES», *Bulletin de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique «AX»*, Gauthier-Villars, n°11, septembre 1948, p.68-72 ; DANJON, André, «Allocution prononcée lors de la séance du 25 janvier 1948», *L'Astronomie*, mars 1948, p.79 ; nous remercions également M. Philippe Véron pour les renseignements qu'il nous a transmis.

pays»[549]. Si la description de Bosler paraît pour le moins exagérée, elle permet cependant de situer Deslandres : une origine bourgeoise qui lui permettra de financer ses voyages et ses travaux, voire de rémunérer plus tard certains scientifiques à Meudon, à une époque où les crédits seront faibles. C'est ainsi que Deslandres suit un parcours classique pour quelqu'un issu de la bourgeoisie : interne au lycée Louis-le-Grand, élève à l'Ecole Polytechnique en 1872, puis à l'Ecole du Génie. Nommé lieutenant le 1er octobre 1876, capitaine du Génie breveté d'Etat Major en octobre 1879 (« chose sans exemple, croyons-nous, parmi les polytechniciens ayant, depuis, suivi une carrière scientifique civile »[550]), il sera noté « intelligent », « susceptible et raisonneur », mais ne sachant pas « supporter une observation ». Il est ainsi attaché au Service géographique de l'armée et envoyé en mission topographique dans le Sud-Algérien. Et, après avoir pris part en tant qu'officier à la brève campagne des Kroumirs, il démissionne de l'armée pour s'adonner à la science. Si ses élèves noteront cette démission comme la conséquence inévitable d' « une passion naissante pour les recherches scientifiques »[551], d'une envie de « se consacrer à la Physique, puis à l'Astronomie, vers lesquelles l'attiraient invinciblement son goût très vif pour l'observation et l'expérimentation »[552], d'autres archives permettent d'en douter. En effet, le lieutenant colonel Gardier, directeur du génie à Rennes, écrit le 7 février 1882 au général directeur supérieur du génie que « Les raisons que Monsieur le capitaine Deslandres m'a données pour motiver sa détermination sont les suivantes : ayant eu le malheur de perdre son frère aîné il y a deux ans, sa famille qui est dans une bonne position de fortune, l'a vivement pressé depuis cette époque de donner sa démission pour le conserver près d'elle »[553]. Hormis cette raison plus familiale que scientifique, on peut relier la décision de Deslandres à un certain courant de démissions des polytechniciens engagés dans une carrière militaire. Terry Shinn note qu'à partir de 1880, les carrières militaires n'offrent plus les mêmes avantages sociaux et matériels, entraînant, entre 1880 et 1914, plus de 35% des jeunes polytechniciens (avant dix ans d'exercice) engagés au service de l'Etat à s'orienter vers le domaine privé. Le génie militaire comprendra 20% de ces polytechniciens appelés «pantouflards», et Shinn note à ce sujet que « ceux-ci prennent un risque en démissionnant, car leur formation et leur expérience professionnelle font qu'ils

---

[549] BOSLER, Jean, «Henri-Alexandre DESLANDRES», *Bulletin de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique «AX»* «, Gauthier-Villars, n°11, septembre 1948, p.68.
[550] *Ibid.*
[551] LYOT, Bernard, *Funérailles de Henri Deslandres*, Hendaye, Imprimerie de l'Observatoire de Paris, 1948, p.683.
[552] d'AZAMBUJA, Lucien, « Henri Deslandres», *L'Astronomie*, 1948, p.180.
[553] VERON, Philippe, Dictionnaire des astronomes français, non publié.

peuvent difficilement se reconvertir dans l'industrie, qui hésite à les employer. Ainsi, leur décision de se « recycler » ne repose pas sur la certitude d'obtenir un poste intéressant dans le privé, mais bien plutôt sur un mécontentement croissant vis-à-vis des carrières offertes par l'Etat, en particulier des carrières militaires. Cette insatisfaction va être à l'origine d'une «épidémie» de démissions tout à fait sans précédent.»[554] La décision de Deslandres, alors capitaine breveté d'Etat Major, engagé en Tunisie dans une guerre contre les Kroumirs et loin des derniers avancements de la spectroscopie, apparaît donc plus controversé qu'il n'y paraît, et semble plus montrer un désir d'évolution sociale qu'un amour sans limite pour la science pure.

Quoi qu'il en soit, Deslandres démissionne en 1881 et il va travailler au Laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique entre 1883 et 1887, soutenir sa thèse en 1888, puis sera attaché au Laboratoire de Lippmann à la Sorbonne jusqu'à son arrivée à l'OP en 1889. Durant cette période, c'est donc avec Cornu qu'il va effectuer des recherches de spectroscopie, l'amenant à suivre les recherches et les méthodes de son directeur. Nous avons déjà rencontré l'intérêt de Cornu pour la spectroscopie : dès 1871, il s'intéresse au renversement spontané des raies des vapeurs métalliques, puis il va étudier la limite ultraviolette du spectre solaire. En 1884 il étudie, toujours dans la partie ultra-violette, l'action absorbante de l'ozone. C'est ainsi que Cornu et Deslandres publient chacun cette année-là une communication de leurs travaux dans les *Comptes Rendus de l'AFAS*. Cornu, pour sa part, présente un article intitulé «Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultraviolets et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients»[555], tandis que, le même jour, Deslandres expose ses résultats sur ses recherches spectroscopiques concernant l'action de l'ozone sur la paraffine.

Nous avons déjà vu que Cornu, à partir de 1871, s'intéresse au spectre solaire, notamment comme moyen d'accéder à la constitution physique du Soleil. Il cherche à partir de là, à déterminer la limite du spectre ultraviolet, et à en trouver la cause. Sa communication à l'AFAS en 1884 expose ses nouvelles recherches sur la détermination d'une loi empirique qui lie le coefficient d'absorption de l'atmosphère à la longueur d'onde. Par l'enregistrement photographique des spectres et une disposition particulière de la fente du spectroscope, il constate que le spectre n'est pas uniforme dans le sens de la hauteur mais s'estompe en

---

[554] SHINN, Terry, *L'Ecole Polytechnique : 1794-1914*, Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 1980, p.168.

[555] CORNU, Alfred, « Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultra-violets et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 8 septembre 1884.

fonction de l'épaisseur de l'atmosphère. C'est à nouveau une forme géométrique qu'il recherche : « la courbe suivant laquelle [le spectre] se termine du côté le plus réfrangible représente la série des limites correspondant aux épaisseurs diverses de l'absorbant. Cette ligne figure précisément la relation qui existe entre la *longueur d'onde limite et l'épaisseur du milieu absorbant*, c'est-à-dire la relation analogue à celle que l'on obtient en observant la limite su spectre solaire à diverses hauteurs du soleil.»[556] Il trouve une fonction logarithmique du type $y = Ae^{-m\lambda}$, puis va déterminer l'influence des conditions expérimentales et les sources d'erreurs commises (la saison, la couche sensible, la présence de brumes ou de poussières, l'état électrique de l'atmosphère, …). Enfin, au laboratoire de l'Ecole Polytechnique, il va déterminer les spectres de différents gaz entrant dans la composition de l'atmosphère (oxygène, azote, eau, ozone, …) pour les comparer avec les spectres solaires photographiques. Il en conlut que l'ozone doit jouer un rôle appréciable dans l'absorption atmosphérique des radiations ultraviolettes, et suggère son application possible à la météorologie, tout en discutant des idées émises récemment par les chimistes Chappuis et Paul-Gabriel Hautefeuille[557] sur le rôle de l'ozone dans la coloration bleue du ciel[558]. La communication de Deslandres ne porte alors que sur un point de détail expérimental concernant les expériences de Cornu sur l'ozone : si l'on utilise la paraffine pour fermer le joint du tube contenant l'ozone, il apparaît des bandes d'absorption que Deslandres attribue à un corps résultant de l'action entre l'ozone et la paraffine. Si cette communication est de peu d'intérêt, elle nous permet de montrer que Deslandres participe avec Cornu à des recherches spectroscopiques et qu'il se familiarise avec les bandes spectrales caractéristiques des gaz : « [ce travail] montre une fois de plus combien les spectres d'absorption peuvent être utiles dans l'étude des corps gazeux »[559]. Deslandres accompagne alors pas à pas les travaux spectroscopiques de Cornu. Celui-ci, s'intéressant sur les traces de Janssen aux raies telluriques du spectre solaire, publie dès 1884 ses études sur les groupes A, B et α du spectre solaire[560]. Deslandres publie en

---

[556] *Ibid.*, p.104.

[557] Paul-Gabriel Hautefeuille (1836-1902), ingénieur-chimiste de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, docteur en médecine, docteur en sciences physiques, travaillera au laboratoire de l'Ecole Normale avec Henri Sainte-Claire Deville, sera nommé en 1885 professeur à la Faculté des Sciences de Paris, puis directeur du laboratoire de chimie à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, et sera membre de l'Académie des Sciences en 1895. Avec J. Chappuis, il procéderont à des études spectroscopiques sur l'ozone et parviendront à le liquéfier.

[558] On appelle aujourd'hui bandes de Chappuis la partie du spectre d'absorption de l'ozone comprise entre 380 et 800 nm.

[559] DESLANDRES, Henri, «Usage des spectres d'absorption dans la recherche du corps résultant de l'action de l»ozone sur la parrafine», *AFAS, C.R.*, 1884, p.132.

[560] CORNU, A., «Notice sur les telluriques du spectre solaire et en particulier sur le groupe α», *Bulletin Astronomique*, 1884, 1, p.74-84 ; «Etude spectrale du groupe de raies telluriques nommé par α par Angström»,

même temps sa première note aux *CRAS* : « Relation entre le spectre ultraviolet de la vapeur d'eau et les bandes telluriques A,B,α du spectre solaire »[561]. Après un historique du problème où il cite les travaux de Huggins, Liveing, Dewar, Langley, Cornu, Egoroff puis Piazzy Smith, Monckhoven, Thollon et Abney, Deslandres expose les résultats de ses premières recherches, à savoir la découverte de nouvelles bandes attribuées à la vapeur d'eau dans la partie ultraviolette et évoque leur intérêt possible dans la recherche de la constitution des corps composés : «Tels sont les faits. Ils peuvent conduire à des conséquences importantes, et suggérer des idées nouvelles sur le mode vibratoire et la constitution des corps composés. Mais je ne veux pas développer actuellement ces points délicats ». Sa note nous permet surtout de situer ses travaux : travaillant au laboratoire de Cornu à l'Ecole Polytechnique, il trouve auprès du Maître de nombreuses ressources documentaires et expérimentales : « […] M. Cornu mit gracieusement à ma disposition des dessins inédits de ces mêmes bandes, rapportées aux longueurs d'onde, plus complets que les précédents ; et même il eut la bonté de bien m'indiquer un procédé simple, qu'il publiera bientôt, permettant de retrouver rapidement dans un mélange confus de raies des groupes d'un type déterminé »[562].

Ainsi, Deslandres étudie chez Cornu les gaz par le biais des spectres de bandes, et adopte la pratique scientifique de Cornu : il cherche à accumuler des observations de spectres de différents gaz, pour en tirer des caractères communs et en induire des lois empiriques. En 1885 et 1886, après étude spectroscopique de l'azote (notamment son spectre négatif pour une comparaison avec le spectre de l'aurore boréale relevé par Angström), il publie la première de ses lois empiriques dont Georges Bruhat dira en 1931 qu'elles «jouent dans l'étude [des spectres de bandes], le rôle fondamental que joue la formule de Balmer dans l'étude des spectres de raies.» [563]

Fig. 2.4.1 : Spectre de bandes de l'azote en longueurs d'onde. Dispersion faible

---

CRAS, 1884, t.98, p.41-50 ; «Etudes des bandes telluriques α, B et A du spectre solaire, *An.Ch.Ph.*, 1886, 7, p.5-102.

[561] DESLANDRES, Henri, «Relations entre le spectre solaire ultra-violet de la vapeur d'eau et les bandes telluriques A,B, α du spectre solaire», *CRAS*, t.100, 1885, p.854-857.

[562] *Ibid.*, p.856.

[563] BRUHAT, Georges, *Cours d'Optique à l'usage de l'enseignement supérieur*, Paris, Masson et Cie, 1931, p.635.

<u>Source :</u> DESLANDRES, Henri, «Spectre de bandes de l'azote ; son origine», *CRAS*, t.101, 1885, p.1257.

Au moyen d'un tube spectral qu'il dessèche à l'aide de sodium, d'une bobine de Ruhmkorff fournissant l'étincelle électrique, d'un réseau de Rowland, et de plaques au gélatinobromure d'argent, il mesure la position des raies en longueurs d'onde. Sa loi utilise ensuite les nombres de vibrations ou inverses de longueurs d'onde. Les notes qu'il soumet à l'Académie des Sciences à cette époque traitent toutes de ce sujet et aboutiront à la thèse qu'il soutiendra en 1888 à la Sorbonne[564].

<u>Fig2.4.2 :</u> Thèse de Deslandres soutenue en 1888 à la Sorbonne.
<u>Source :</u> Archives de l'observatoire de Meudon.

Ses lois, que Deslandres qualifie de «générales» et sont au nombre de deux, montrent qu' « il est possible de trouver, parmi les raies qui composent une bande, des suites de raies telles que, dans chaque suite, l'intervalle d'une raie à la suivante, mesuré dans l'échelle des fréquences, varie en progression arithmétique »[565]. On écrit aujourd'hui (ν étant le nombre d'ondes) : $\nu = A + 2Bm + Cm^2$. L'autre loi donne la répartition des bandes dans le spectre : «les suites de raies qui se correspondent dans les différentes bandes d'une même famille sont représentées par des formules $\nu = A + 2Bm + Cm^2$ dans lesquelles les termes constants A sont eux-mêmes des fonctions de la forme $a + bn + cn^2$ d'une suite de nombres entiers.»[566]
Cette thèse est l'occasion pour Deslandres de situer ses travaux. Il définit ainsi pour la spectroscopie ultraviolette trois périodes historiques. La première est la période de reconnaissance : l'existence de rayons plus réfrangibles que le violet est découverte par Ritter en 1802, puis étudiée par Herschel, Stokes, Helmholtz, Esselbach. Edmond Becquerel, Draper et Miller inaugureront, dès les années 1840, l'analyse du spectre ultraviolet par la photographie, ceci permettant, selon Deslandres, d'obtenir « une image fidèle que l'on peut

---

[564] DESLANDRES, Henri, «Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes.», *CRAS*, t.103, 1886, p.375-379 ; «Loi de répartition des raies et des bandes, commune à plusieurs spectres de bandes. Analogie avec la loi de succession des sons d'un corps solide.», *CRAS*, t.104, 1887, p.972-976 ; «Spectre de bandes ultra-violet des composés hydrogénés et oxygénés du carbone», *CRAS*, t.106, 1888, p.842 ; «Spectres des bandes ultra-violets des métalloïdes avec une faible dispersion», *Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris*, Gauthier-Villars et Fils, 1888; reproduite dans *Annales de Chimie et de Physique*, 1888, t.15, p.5-86 ; «Propriété fondamentale commune aux deux classes de spectres. Caractères distinctifs de chacune des classes. Variations périodiques à trois paramètres.», *CRAS*, t.110, 1890, p.748 ;
[565] BRUHAT, *op.cit.*, p.635.
[566] *Ibid.*, p.636.

étudier à loisir»[567], et surtout sans fatigue, les spectres obtenus présentant peu d'intensité et de netteté. La seconde période est caractérisée par des observateurs qui « se proposeront de faire une œuvre définitive»[568], c'est-à-dire des observateurs qui vont accroître la précision des mesures, en augmentant la netteté et en donnant les résultats dans l'échelle naturelle des longueurs d'onde. C'est Mascart qui en 1864 inaugure cette période en utilisant un réseau par transmission, et il sera suivi par Angström qui abandonne l'échelle arbitraire des longueurs d'onde utilisée par Kirchhoff et Bunsen. Cornu poursuit le travail d'Angström, utilisant la photographie qui représente un avantage incontestable pour la spectroscopie ultraviolette. Cornu alterne également l'utilisation des prismes et des réseaux, ceux-ci permettant d'obtenir des repères dans le spectre (notamment par comparaison avec les raies du fer obtenues par l'arc électrique), les spectres prismatiques étant ensuite exploités à l'aide d'une formule d'interpolation qui porte encore son nom auourd'hui. Cornu va ainsi, comme nous l'avons déjà vu, chercher à repousser la limite de l'investigation dans la partie ultraviolette du spectre solaire. En 1880, Cornu marque, selon Deslandres, la fin de cette période, en précisant que «ces travaux, qui ont fourni tous les éléments nécessaires à l'étude complète du spectre ultra-violet, ont précédé notablement les recherches faites à l'étranger et les ont certainement facilitées.»[569] Arrive alors la troisième période, marquée par des progrès techniques, tels que le perfectionnement des plaques et des réseaux, à savoir le remplacement du collodion humide peu sensible par le gélatinobromure d'argent, et la mise au point de réseaux plus performants par Rutherfurd et Rowland (les améliorations portant sur la grandeur de la surface, le nombre de traits par millimètre et la proportion de lumière diffractée). Après les travaux de Lockyer, Rand-Capron, Huggins, Liveing, Dewar, Hartley, Adeney et enfin Cornu et Rowland, le spectre ultraviolet du Soleil et des métaux paraît déterminée avec une grande précision: Deslandres va s'attacher à transposer ces études aux métalloïdes, et à suivre les idées de Lecoq de Boisbaudran et Liveing et Dewar, qui ont cherché des lois de répartition des raies dans les spectres lumineux pour le premier et ultraviolet pour les seconds. Balmer va alors proposer une formule pour décrire la série des raies de l'hydrogène : $h = \frac{m^2}{(m^2-4)}.3645$ (m étant un nombre entier).

---

[567] DESLANDRES, Henri, «Spectres des bandes ultra-violets des métalloïdes avec une faible dispersion», *Annales de Chimie et de Physique*, 1888, t.15, p.11.
[568] *Ibid.*, p.12.
[569] *Ibid.*, p.18.

On peut ici faire quelques remarques. Tout d'abord, le mémoire de Deslandres révèle le problème de la précision des mesures, des erreurs liées aux appareils (qualité des réseaux, largement étudiée par Cornu), et de la métrologie. Sur ce dernier point, une grande confusion semble régner, ce qui pousse Deslandres à des ajustements et des approximations. Concernant l'utilisation de raies repères, il écrit par exemple :

> Le Tableau annexé au présent travail donne les longueurs d'onde adoptées pour l'alliage repère, longueurs qui diffèrent un peu de celles de M. Cornu. Les déterminations de M. Cornu sont en effet, pour le spectre solaire, en désaccord de 0,10 avec le spectre d'Angström, et la différence, dans les mesures nouvelles, monte jusqu'à 0,17. Il convenait de faire disparaître ce brusque écart. J'ai donc adopté, pour la région lumineuse, les longueurs d'onde d'Angström jusqu'à λ420 ; puis de λ420 à λ400, elles ont été augmentées proportionnellement à leur distance à λ420 ; de manière que pour H l'augmentation fût de 0,10. De plus toutes les longueurs d'onde ont été diminuées de 0,07. Dans ces conditions, la valeur adoptée pour la raie AlH', raie la moins réfrangible du doublet de l'aluminium entre H et K, est 396,16 – N252,42 ; la valeur de la raie D_2 du sodium étant celle d'Angström, soit 588,89. Or, dans le spectre solaire de Rowland dont les longueurs d'onde ont été déterminées par une méthode toute différente, la même raie AlH' a pour valeur 396,18 ; la valeur adoptée pour la raie D_2 étant 588,93, l'accord est très satisfaisant.[570]

Le problème de l'instauration d'un système international d'unités est sous-jacent et fera l'objet de nombreux débats à la fin du XIX^{ème} siècle lors des réunions de l'International Union for Cooperation in Solar Research et au sein de l'*Astrophysical Journal*, débats auxquels participeront activement Fabry et Pérot. L'émergence de l'astrophysique est ainsi consubstantielle à la création de standards métrologiques, permettant la circulation des mesures et des connaissances.[571]

Ensuite, Deslandres adopte et fait siennes un certain nombre de méthodes et d'idées développées par Cornu. C'est le cas pour la croyance en l'unité matérielle de l'Univers, croyance rendant possible l'apparition de passerelles entre l'astronomie et la physique, celle-ci pouvant reproduire au laboratoire les observations faites avec un télescope ou une lunette. Deslandres semble ainsi très impressionné par l'obtention au laboratoire par Cornu de raies ultraviolettes correspondant à celles observées par Huggins sur les étoiles blanches. Ce qui importe donc est l'identification de séries de raies appartenant à un corps donné, ceci, comme Cornu l'a expérimenté, par le renversement des raies seules de ce corps dans des conditions expérimentales précises. Et l'hydrogène apparaît comme le corps support de l'analogie pour

---

[570] *Ibid.*, p.38-39.

[571] On consultera à ce sujet la thèse de Charlotte Bigg : *Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe*, Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002.

l'étude des autres corps : « Dans les spectres métalliques, certaines séries de raies spontanément renversables présentent sensiblement les mêmes lois de répartition et d'intensité que les raies de l'hydrogène »[572]. Cornu évoquant alors tout l'intérêt de la découverte d'une « fonction hydrogénique » : « Il n'est pas nécessaire d'insister longuement sur l'importance de cette relation : elle met en évidence l'existence d'une loi très générale relative aux pouvoirs émissifs des vapeurs incandescentes et, d'autre part, elle montre que cette loi de succession des raies spectrales, commune à tant de séries, paraît devoir être exprimable à l'aide d'une même fonction, que l'on pourra appeler *fonction hydrogénique*, laquelle devra jouer un rôle capital dans ces études »[573]. Il apparaît ici le rôle fort de l'analogie dans la démarche scientifique que Deslandres va adopter. Nous verrons l'importance de ce réflexe dans ses futurs travaux en AP. Il partage avec beaucoup d'autres ce recours constant à l'analogie, notamment quand il s'agit de comparer la lumière et le son ; ainsi, en citant la *Théorie Mathématique* d'Helmholtz sur les battements, Deslandres peut écrire qu' «[…] on peut comparer l'ensemble des raies de ce spectre à l'ensemble des vibrations émises par une verge sonore, qui est ébranlée fortement dans les deux sens et qui donne, à la fois, les sons simples, leurs harmoniques, et les sons résultants additionnels»[574]. L'analogie est un moyen puissant et fort, qui permet à Cornu et ses élèves d'appliquer son programme et ses idées, à savoir rattacher les phénomènes physiques à la mécanique rationnelle : « Déjà plusieurs branches de la Physique expérimentale vérifient cette conception et constituent de véritables chapitres de la Mécanique : telle est l'Acoustique, qui rentre de plus en plus dans la théorie de l'Elasticité. Il en serait de même de l'Optique, si l'on n'était obligé d'ajouter aux axiomes de la Mécanique quelques hypothèses sur le siège des vibrations lumineuses et les propriétés du milieu vibrant »[575]. C'est en cela que Deslandres est un disciple de Cornu : adoption de ses méthodes, de ses appareils, et transmission de l'héritage fresnélien porté par Cornu et revendiqué fortement par Deslandres dans sa thèse : « On peut citer, par exemple, cette remarque de Fresnel : Si quelque chose doit contribuer puissamment à nous révéler les secrets de la constitution intérieure des corps, c'est l'étude approfondie des phénomènes de la lumière »[576].

---

[572] CORNU, Alfred, « Sur les raies spectrales spontanément renversables et l'analogie de leurs lois de répartition et d'intensité avec celles des raies de l'hydrogène », *CRAS*, 100, 1885, p.1187.
[573] *Ibid.*, p.1188.
[574] DESLANDRES, Henri, «Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes.», *CRAS*, t.103, 1886, p.379
[575] CORNU, Alfred, *Cours de physique de l'Ecole Polytechnique*, 1901-1902, 1ère section.
[576] DESLANDRES, Henri, «Spectres des bandes ultra-violets des métalloïdes avec une faible dispersion», *Annales de Chimie et de Physique*, 1888, t.15, p.6.

2.4.2 La spectroscopie stellaire à l'Observatoire de Paris

Après sa thèse soutenue en 1888, Deslandres va passer presque deux ans au laboratoire de physique de Gabriel Lippmann à la Sorbonne. Quel avantage Deslandres a-t-il pu tirer de son passage chez Lippmann ? A l'instar de sa démission de l'armée, cette orientation est à remettre dans un contexte plus général, à savoir celui de la III^{ème} République et de la restructuration de l'Université. En effet, si la III^{ème} République est officiellement déclarée le 4 septembre 1870, ce n'est qu'en 1879 que les républicains arrivent définitivement au pouvoir avec l'élection de Jules Grévy à la présidence de la République. Au cours des années 1880, l'Université s'organise, notamment par le regroupement des facultés d'état en universités, et devient un moyen pour la République d'asseoir et de diffuser ses valeurs[577]. L'Ecole Polytechnique, où travaille jusqu'alors Deslandres, et la Faculté des Sciences sont donc deux lieux possédant une visiblité fort différente : «In the eyes of the leaders of the Third Republic, consolidated in power after series of election that definitively advanced the interests of the Left in the later 1870's, the University symbolized a progressive structure for teaching and research that squared well with the traditionally more conservative world of the Ecole Polytechnique and the other technical *grandes écoles*, which most republicans regarded with distinctly less favour.»[578] De plus, la création en 1868 de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes par Victor Duruy a permis l'existence de laboratoires de recherches, au travers d'une structure administrative et d'un support financier. La physique semble ainsi privéligiée : « Physics emerged as a leading, and arguably the greatest, beneficiary of this re-evaluation of the role of academic research.»[579] Les deux laboratoires de physique à la Sorbonne (l'un dirigé par Jamin puis par Lippmann, l'autre par Desains) vont ainsi pouvoir faire vivre une recherche active, créant un esprit d'équipe et permettant à des étudiants d'éviter le traditionnel rite de passage que constitue un poste dans l'enseignement secondaire. En entrant en 1888 au laboratoire de physique de Lippmann, Deslandres réalise un double objectif : intégrer un centre de

---

[577] FOX, Robert, GUAGNINI, Anna, Laboratories, workshops, and sites. Concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 29 (1998-1999) ; MARTIN-FUGIER, Anne, *Les Salons de la III^{e}République, Art, Littérature, Politique*, Paris, Perrin, 2003 ; LEON, Antoine, *Histoire de l'enseignement en France*, Paris, Puf, Collection Que sais-je ?, 1967 ; ALBERTINI, Pierre, *L'Ecole en France XIXè-XXè siècle, de la Maternelle à l'Université*, Paris, Hachette, 1992 ;

[578] « Dans l'esprit des leaders de la III^{ème} République, conforté dans le pouvoir par des series d'élections qui ont assis les interest de la gauche à la fin des années 1870, l'Université symbolisait une structure progressiste d'enseignement et de recherche qui réglait ses comptes avec le monde traditionnellement plus conservateur de l'Ecole Polytechnique et des autres *grandes écoles* techniques, qui recevaient nettement moins de faveur chez la plupart des républicains » ; FOX, Robert, GUAGNINI, Anna, *op.cit.*, p.75.

[579] « La physique émergeait comme le domaine qui bénéficiait indubitablement le plus de la réévaluation du role de la recherche académique «. ; *Ibid.*, p.54.

recherches important en France et en Europe, et se donner une position administrative plus apte à lui assurer un poste de prestige, lui permettant notamment d'oublier ses déboires à l'Ecole Polytechnique.

En effet, Deslandres a tout d'abord posé sa candidature à un poste de répétiteur à l'Ecole Polytechnique. Mais un incident lui vaudra certainement la place, Mouchez, alors directeur de l'OP écrivant au Ministre le 8 mai 1890 : « M. Deslandres n'a pas eu une seule voix dans le vote du conseil d'instruction de l'Ecole Polytechnique, parce qu'un membre a fait connaître qu'il y a quelques années, M. Deslandres avait reçu au laboratoire des professeurs, devant les élèves, un soufflet de la part de M. Philippe, répétiteur, son collègue et qu'il n'avait exigé ni excuse, ni réparation. Il paraît malheureusement que le fait est vrai, sauf la présence des élèves. L'observatoire ne pouvant pas se montrer moins susceptible pour l'honorabilité de son personnel que l'Ecole Polytechnique, et M. Deslandres niant la voie de fait [...] j'ai dit à M. Deslandres qu'il était indispensable [...] de demander une enquête »[580]. Deslandres est cependant nommé astronome adjoint à l'OP le 13 août 1889, en tant que responsable d'un Service de spectroscopie. Et en particulier, c'est l'étude régulière des spectres stellaires dont Mouchez le charge, spectres devant permettre «la mesure des longueurs d'onde, […] la recherche de la composition chimique et des mouvements propres »[581].

On peut se poser la question de l'objectif recherché par Mouchez avec la (re)création de ce Service de spectroscopie. Mouchez est alors à l'origine d'un projet grandiose, nécessitant une collaboration internationale, et pour lequel la France s'est montrée l'instigatrice : la Carte du Ciel. On a pu opposer ce projet et le développement de l'AP, estimant que l'un était la consécration de l'astronomie de position, l'autre une astronomie nouvelle en rupture avec les méthodes de l'astronomie de position. A la fois dans leur but et leur moyen ces deux astronomies semblent différer, l'AP nécessitant des appareils issus des laboratoires de chimie et de physique , comme le note Rodolphe Radau : «L'astronomie expérimentale, née depuis quarante ans, a déjà exigé la création de tout un attirail d'instruments spéciaux, installés dans des observatoires qui ressemblent à des laboratoires de chimie et de physique. On les appelle des observatoires d'astronomie physique ou, plus simplement, d'astrophysique »[582]. Cependant, il apparaît que la mesure des vitesses radiales, qui ressort de l'AP en ce qu'elle représente une activité spectroscopique, constitue un pont entre l'AP et l'astronomie de

---

[580] *Archives de l'OP*, MS 1065, 4. Cité in VERON, Philippe, *op.cit.*

[581] DESLANDRES, Henri, «Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris.», *CRAS*, t.111, 1890, p.562.

[582] RADAU, Rodolphe, «L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon», *Revue des Deux-Mondes*, 15 août 1900, p.811.

position : il s'agit de la mesure des positions d'étoiles et de leur mouvement propre[583]. On peut alors voir comme cohérent les choix de Mouchez lorsqu'il promeut d'un côté les travaux des frères Henry concernant la photographie des étoiles et la Carte du Ciel inaugurée en 1887, et de l'autre côté la spectroscopie stellaire dont il charge Deslandres en 1889 : les deux permettront d'étudier «la distribution des étoiles dans l'espace, c'est-à-dire la constitution de l'univers visible»[584]. Ainsi, après les premières impulsions de Mouchez avec Thollon, Egoroff, Wolf et les frères Henry, Deslandres voit l'AP accéder à une visibilité certaine dans l'institution majeure de l'astronomie française.

C'est donc sur le projet de développer l'étude des spectres stellaires que Deslandres intègre l'OP. Cependant, plusieurs activités se développent à l'étranger dans ce domaine, nécessitant un matériel spécifique. Il devient en effet possible d'obtenir des spectres stellaires en nombre dans le but d'une classification spectrale : dans ce cas, la précision sur la mesure des longueurs d'onde n'est pas ce qui est d'abord recherché, mais plutôt la capacité d'enregistrer sur une même plaque de nombreux spectres, à l'aide d'un instrument particulier, le prisme-objectif. De l'autre côté, il peut s'agir de mesurer précisément la position des raies du spectre d'une seule étoile, en vue de la détermination par l'effet Doppler-Fizeau du mouvement de l'astre : on utilise alors une fente étroite, avec tous les problèmes de mise au point que cela implique[585]. Deslandres exprime clairement qu'il s'intéressera à la mesure des vitesses radiales : «J'ai adopté, en principe, la méthode du spectroscope à fente étroite, qui est la plus

---

[583] Concernant le projet de la Carte du Ciel, on pourra consulter : CHINICCI, Ileana, *La carte du ciel : correspondance inédite conservée dans les archives inédites de l'observatoire de Paris*, Observatoire de Paris, 1999 ; LANKFORD, John, «The impact of photography on astronomy», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p.16-39 ; BIGG, Charlotte, «Photography and the labour history of astronomy : The Carte du Ciel», *Acta Historica Astronomiae, vol.9 : The Role of Visual Representation in Astronomy : History and Research Practice*, 2000, p. 90-106 ; MAISON, Laetitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, thèse doctorat, Université de Bordeaux 1, 2004 ; LAMY, Jérôme, *Archéologie d'un espace savant. L'observatoire de Toulouse aux 18ème et 19ème siècle : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, Thèse de doctorat, EHESS, 2004, p.427-444 ; MOUCHEZ, Ernest, «Essai de photographie d'étoiles, pour la construction des Cartes du Ciel, par MM. Paul et Prosper Henry«, *CRAS*, t.99, p.305-307, SAINT-MARTIN, Arnaud, « La phase critique de la Carte du Ciel à Paris, 1920-1940 », in LAMY, Jérôme, *La Carte du Ciel*, Paris, EDP Sciences, à paraître.

[584] MOUCHEZ, Ernest, *La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la Carte du ciel*, Gauthier-Villars, Paris, 1887, p. 6. Nous remercions Arnaud Saint-Martin pour la diffusion de certaines parties de sa thèse en cours, dont cette référence est issue, ainsi que pour les nombreuses discussions que nous avons eues au sujet de l'émergence de l'astrophysique.

[585] Pierre Salet écrit à ce sujet : «Nous avons vu que, dans ce cas, la véritable source de lumière n'est pas la fente, mais un point qui peut en être assez éloigné par suite de la difficulté qu'il y a à effectuer exactement la mise au foyer. D'autre part, pour la source de comparaison, c'est la fente elle-même qui doit être considérée comme la source lumineuse ; il en résulte qu'il peut y avoir une distance appréciable entre le plan où se produit le spectre stellaire et celui du spectre de comparaison.» cité in SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Doin et fils, Paris, 1909, p.133-134.

difficile dans l'application, mais qui seule fournit les éléments d'une étude complète. Elle est la seule, en effet, qui convienne dans tous les cas aux astres ayant un diamètre apparent, la seule qui se prête à l'emploi d'un spectre de comparaison, et par suite, à la mesure des longueurs d'onde, à la recherche de la composition chimique et des mouvements propres.» Et un peu plus loin : «Ce dernier perfectionnement, simple et peu coûteux, a permis de faire avec un spectroscope ancien, disposé pour l'observation oculaire, plusieurs photographies de spectres stellaires, juxtaposés à un spectre de comparaison. Ces photographies sont les premières qui permettent la recherche de la composition chimique et des mouvements propres »[586]. Avant d'aborder le matériel et les résultats obtenus par Deslandres, on peut se questionner sur la place de ces travaux par rapport à l'international.

Dans l'historique qu'il a consacré à la spectroscopie stellaire, Pierre Salet mentionne, avant l'utilisation de la photographie, les observations oculaires de Fraunhofer en 1817 (observations de Sirius, Pollux, Bételgeuse, Capella à l'aide d'un prisme placé devant une lunette ou un théodolite, et d'une lentille cylindrique pour élargir le spectre). Donati par la suite observera le spectre de quinze étoiles en1860 (appareil proche de celui de Fraunhofer). Lors de son voyage à Rome en 1862, Janssen observe avec Secchi des spectres d'étoiles à l'aide de son spectroscope à vision directe. Ils vont commencer à identifier certaines raies à l'aide d'un spectre de comparaison, travail que Secchi développera largement pour aboutir à une classification spectrale dès 1863 en deux classes, puis en quatre en 1868. Dès 1862, William Huggins[587] en Angleterre observera également une quarantaine d'étoiles, ceci à l'aide d'un spectroscope monté sur une lunette de huit pouces. Huggins va ainsi progressivement devenir le spécialiste de la spectroscopie stellaire jusqu'au début des années 1880. Parmi les pionniers, on peut également citer Lewis Rutherfurd à New-York, et George Airy à l'observatoire de Greenwhich en 1863, ainsi que Henry Draper qui obtiendra en 1879 la première photographie de spectres d'étoiles[588]. En 1867, nous avons déjà vu que Wolf et Rayet observent un type particulier d'étoiles à lignes brillantes. Puis, comme le note Salet : «A partir de cette époque, si l'on excepte les travaux de Wolf et Rayet, qui découvrirent, en 1867, les étoiles à lignes brillantes qui portent leurs noms, la spectroscopie stellaire fut assez négligée aussi bien en France qu'en Italie, et les travaux d'ensemble sur cette question furent

---

[586] DESLANDRES, Henri, «Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris.», *CRAS*, t.111, 1890, p.562-564.

[587] On pourra consulter : BECKER, Barbara, «Visionary memories :William Huggins and the origins of astrophysics», *Journal for the History of Astronomy*, vol.32, 2001, p.43-62.

[588] HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, p.51-103.

effectués en Allemagne.»[589] C'est en effet Carl Hermann Vogel qui va réaliser les travaux les plus significatifs dans le domaine de la spectroscopie stellaire. Si Huggins passe aujourd'hui pour le fondateur de la discipline, Hearnshaw note que «Vogel was the person who perfected the photographic art so that measurements on stellar spectra with hitherto unattainable precision became a standard, even if laborious, procedure »[590]. Habitué aux recherches spectrales appliquées au Soleil dès 1869 auprès de Zöllner, il devient directeur de l'observatoire privé de Bothkamp, où il développe la spectroscopie astronomique (notamment planétaire)[591]. Puis, en 1874, il accepte un poste d'astronome au tout nouvel observatoire fondé par le gouvernement prussien à Potsdam et dédié à la nouvelle astronomie, l'Astrophysique. Il va y engager des recherches sur les spectres stellaires en vue de la constitution d'un catalogue spectroscopique des étoiles. C'est là qu'il va inaugurer la photographie des spectres stellaires, photographie permise par l'apparition du gélatinobromure d'argent, substance beaucoup plus sensible que le collodion humide ou sec alors employé : «No material advance in the investigation of stellar motion was made until the introduction of the photographic method by Vogel at Potsdam in 1887.[…] The velocity of 51 stars thus determined were published in 1892 »[592].

On le voit : le programme de spectroscopie stellaire, par la photographie, prévu par Mouchez et que se propose de réaliser Deslandres en 1889, est alors un travail pionnier. Cette année-là, Mouchez met à la disposition de Deslandres le télescope de 1,20 m de l'OP, télescope d'une ouverture très grande pour l'époque. Camille Flammarion, dans un article paru en 1873 dans *La Nature*[593], montre les progrès réalisés dans la construction des réflecteurs qui commencent à peine, dans le milieu professionnel, à rivaliser avec les réfracteurs[594] : «Aujourd'hui la

---

[589] SALET, Pierre, *op.cit.*, p.344.

[590] «Vogel a perfectionné l'art photographique de telle sorte que les mesures obtenues sur les spectres stellairesvavec une precision jusqu'alors non atteinte, devint une procedure standard, ceci malgré son côté pénible»; HEARNSHAW, J.B., *op.cit.*,p.87.

[591] On pourra consulter les notices biographiques suivantes : MACPHERSON, H., «Hermann Carl Vogel«, *The Observatory*, vol 30, 1907, p.403-405 ; CHANT, C.A., «Hermann Carl Vogel», *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, vol.1, p.360-361 ; FROST, Edwin, «Hermann Carl Vogel», *The Astrophysical Journal*, vol.27, 1908, p.1-11 ; «Obituary notices : Vogel, Carl Hermann», *Monthly Notices f the Royal Astronomical Society*, vol.68, 1908, p.254-257.

[592] « Aucune avancée matérielle dans la recherche des mouvements stellaires ne fut faite avant l'introduction de la méthode photographique par Vogel à Potsdam en 1887. […] La vitesse de 51 étoiles ainsi déterminées fut publiée en 1892 […] « ; «Obituary notices : Vogel, Carl Hermann», *Monthly Notices f the Royal Astronomical Society*, vol.68, 1908, p.255.

[593] FLAMMARION, Camille, «Les plus grands télescopes du monde», *La Nature*, 1873, p.277-280, 307-310, 370-375.

[594] Lankford note bien que la communauté astronomique dans son ensemble a été réticente à l'introduction des réflecteurs dans leurs pratiques. Ce seront les amateurs ou les scientifiques marginaux qui seront pionniers dans

question se pose entre les télescopes et les lunettes, et elle n'est pas encore résolue. Il est difficile de décider de quel côté est la supériorité. Il est plus facile de construire un grand miroir qu'une grande lentille, mais certainement, à égalité de diamètre, une bonne lentille est préférable à un bon miroir »[595]. Pour Flammarion, la qualité de l'instrument prime sur sa dimension, et il note que la construction des appareils devrait rester l'apanage des astronomes eux-mêmes : « Il faudrait que de tels appareils fussent uniquement faits par amour de l'art, et, si l'on peut dire, par des astronomes. Ainsi je pourrais signaler à ce propos que deux jeunes astronomes de notre Observatoire, MM. Henry, à qui l'on doit la découverte récente de la comète qui porte leur nom, viennent précisément de réussir à merveille un petit télescope, de 18 centimètres et de 1 mètre de distance focale, qui supporte nettement un grossissement de 400 fois, dédouble Gamma-deux d'Andromède, etc. Si tous les télescopes étaient aussi parfaits que celui-là, la question serait résolue en leur faveur, et les lunettes seraient détrônées »[596]. Méfiance vis-à-vis des constructeurs ? Caractéristique très française d'un amour du beau travail, bien fait, proche de l'œuvre d'art, plus que d'une pratique basée sur la standardisation et la recherche du gigantisme ? Ceci ne peut que faire écho au problème rencontré par Deslandres lors de son arrivée à l'OP. En effet, le télescope de 1,20 m dont il dispose est, par ses dimensions, l'un des plus grands au monde. Flammarion, dans son article de 1873, cite comme réflecteurs les plus imposants, le télescope de 1,20 m de l'observatoire de Melbourne (distance focale : 9,60 m), le télescope de Lord Rosse en Irlande (1,85 m de diamètre et 17 mètres de distance focale) et le télescope de Foucault de 0,80 m de diamètre et 4,80 m de distance focale installé à Marseille[597].

---

ce domaine, ce qui correspond aussi à leur forte implication dans le développement de l'astronomie physique. On pourra consulter : LANKFORD, John, «The impact of photography on astronomy», *op. cit.*, p.32 ; LANKFORD, John, «Amateurs and astrophysics : A Neglected Aspect in the Development of a Scientific Specialty», *Social Studies of Science*, 11, 1981, p.275-303 ; HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Johns Hopkins University Press, Baltimore et Londres, 1993, p.60 ; LEGARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

[595] FLAMMARION, Camille, *op.cit.*, p.371.

[596] FLAMMARION, Camille, *op.cit.*, p.375.

[597] Le télescope de Foucault est en verre argenté, contrairement aux deux autres qui sont en métal. Owen Gingerich note à ce sujet que, si l'analyse spectrale a été rapidement intégré à l'astronomie suite aux travaux de Kirchhoff et Bunsen, l'argenture des miroirs, qui résout nombre de problèmes techniques, n'a commencé à se diffuser que dans les années 1880, alors que Foucault avait mis cette technique au point à la fin des années 1850. GINGERICH, Owen, *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, préface. Sur Foucault et l'argenture des miroirs : TOBIN, William, *Léon Foucault*, EDP Sciences, 2002, p.205-232.

<u>Fig2.4.3 :</u> Les plus grands télescopes en 1873.

<u>Source :</u> FLAMMARION, Camille, «Les plus grands télescopes du monde», *La Nature*, 1873, p.277-280, 307-310, 370-375.

Le télescope de 1,20 m de l'OP était, pour sa part, inutilisé depuis son inauguration le 16 septembre 1875[598]. Imaginé et conçu par Foucault, ce dernier mourut avant de le réaliser. Ce sont alors Eichens pour la mécanique, et Adolphe Martin, l'élève de Foucault, pour le polissage qui sont chargés de la construction. Mais Martin ne devait pas réussir un polissage correct du miroir, et tenta même de cacher les défauts du miroir lors de son inauguration. Malgré la promesse de Martin de retoucher le miroir, celui-ci fut définitivement accepté à l'OP en octobre 1875 et mis en service en 1876, Charles Wolf étant chargé de mener avec cet appareil des études sur les planètes et leurs satellites, ainsi que des travaux de photographie et de spectroscopie. Mouchez ne pourra alors que constater en 1884 que le télescope n'a pu donner aucune observation ou photographie digne d'intérêt. Deux ans plus tard, il notera que malgré son coût de 200 000F, il faudrait encore investir 40 000F pour refaire le miroir.
Deslandres arrive donc à la tête d'un service pionnier et unique en France, et récupère un appareil quasiment inutilisé, parce que possédant de piètres performances optiques.

<u>Fig2.4.4 :</u> Le Grand Télescope de l'Observatoire de Paris.

<u>Source :</u> MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.29.

Il va alors procéder à un certain nombre de modifications du télescope, pour le rendre plus maniable et plus adapté à la photographie, ce qui lui prendra pratiquement deux ans avant qu'un service régulier soit prétendument installé, tout en essayant d'adapter également le sidérostat de Foucault à la mesure des vitesses radiales[599]. Les problèmes sont en effet

---

[598] A propos de ce télescope : TOBIN, William, *op.cit.*, p.290 ; FLAMMARION, Camille, *op.cit*., p.370 ; VERON, Philippe, «Préhistoire de l'Observatoire de Haute Provence», Colloque Observatoires et patrimoine astronomique français, Nantes, 8-9 juin 2001, www.obs-hp.fr/www/preprints/pp156/pp156.pdf, p.11 ; «Le Grand Telescope de l'Observatoire de Paris», *La Nature*, 18 décembre 1875, n°133, p.39-43.

[599] DESLANDRES, Henri, «Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris.», *CRAS*, t.111, 1890, p.562-564 ; DESLANDRES, Henri, «Sur le spectre de α Lyre», *CRAS*, t.112, 1891, p.413-414 ; DESLANDRES, Henri, «Résultats nouveaux sur l'hydrogène obtenus par l'étude spectrale du Soleil. Rapprochements avec l'étoile nouvelle du Cocher», *CRAS*, t.115, 1892, p.222-225.
DESLANDRES, Henri, «Transformation du grand télescope de l'Observatoire de Paris, pour l'étude des vitesses radiales des astres», *CRAS*, t.115, 1892, p.783-786 ; DESLANDRES, Henri, «Méthode pour obtenir les variations de vitesse radiale des astres avec de faibles instruments», *Astronomische Nachriten*, 139, 1896, p.243-244.

multiples : il faut pouvoir suivre l'étoile pendant les longues poses photographiques, pouvoir manœuvrer l'appareil pendant le suivi, profiter d'une dispersion suffisante du spectroscope. Ceci limitera l'étude aux étoiles suffisamment brillantes, étant donné la mauvaise qualité de l'optique du télescope. En l'espace de deux ans, Deslandres va aboutir cependant à un certain nombre de résultats. Tout d'abord, il va résoudre le problème du suivi en utilisant les rayons rouges renvoyés par le spectroscope (Deslandres ne photographiant que la partie violette, actinique, du spectre), ces rayons étant déviés par un prisme à réflexion totale vers une lunette à réticule. Dès 1890, et à l'aide de cette modification complétée par l'ajout d'un miroir à 45° fixé à la fente pour faciliter encore le pointé de l'étoile, Deslandres peut photographier, à l'aide d'un spectroscope ancien normalement prévu pour l'observation oculaire, un certain nombre de spectres stellaires.

Très vite cependant, Deslandres essaie de remplacer le télescope de 1,20 m par le sidérostat de Foucault. Cet appareil, comme son nom l'indique, est l'œuvre de ce physicien[600] qui l'a conçu, mais sera construit en 1869, un an après sa mort, par Eichens et Martin. Le sidérostat sera installé dans le jardin de l'OP devant une lunette de 20cm, par Charles Wolf.

Fig2.4.5: Le sidérostat de Foucault à l'Observatoire de Paris ; spectre de α Grand Chien

Source : MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.35 ; Archives de l'Académie des Sciences

Avant de mourir, Foucault projetait de réaliser, avec un tel appareil, des études d'AP, notamment sur le Soleil pour l'observation des taches solaires. Ainsi Deslandres, avec l'appareil, a réalisé un certain nombre de mesures en 1891[601]. Il va en premier lieu étudier le spectre d'une étoile, α Lyre, en entrant dans le débat sur l'existence ou non d'un dédoublement périodique de la raie K du calcium, débat impliquant les spécialistes du sujet à cette époque, à savoir Fowler, Pickering et Vogel. Pour cela, Deslandres adapte au sidérostat de Foucault un objectif de 12 pouces[602] (achromatisé d'après la méthode de Cornu, c'est-à-dire par écartement

---

[600] TOBIN, William, op.cit., p.279-281 et 289 ; WOLF, Charles, «Description du sidérostat de L. Foucault», *Annales Scientifsiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2è série, t.1, 1872, p.51-84. On pourra aussi consulter le site : http://www.obspm.fr/~expositions/Foucault/fichiersPDF/page17.pdf ; FRAISSINET, A., «Le sidérostat de L. Foucault«, *La Nature*, 1874, 2ème semestre, p.395-398. ; «Modification du sidérostat de Foucault«, *La Nature*, 1895, 1er semestre, p.399 ; CORNU, Alfred, «Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat», *CRAS*, t.130, 1900, p.537-544 et *Astrophysical Journal*, 11, p.148-162.

[601] DESLANDRES, Henri, «Sur le spectre de α Lyre», *CRAS*, t.112, 1890, p.413-414

[602] Soit environ 36cm.

des verres) et un spectroscope à fente constitué d'un prisme de 60° lui permettant d'obtenir un spectre de 3cm des raies F à H en posant pendant une heure. Avec ce matériel, Deslandres n'obtient aucun dédoublement. Il en profite également pour affirmer l'avantage de la fente dans son dispositif : supprimer les erreurs dues à l'agitation de l'atmosphère et aux variations de l'objectif.

Quelques mois plus tard, le 17 août, Deslandres expose quelques-uns des résultats obtenus dans «l'étude régulière des mouvements stellaires par la photographie spectrale»[603]. Avec le même matériel, il donne la vitesse mesurée de Sirius : -1,2 km/s (par rapport au Soleil)[604]. Mais Deslandres note le problème inhérent à l'utilisation du sidérostat : la difficulté de suivi, qu'il dit être résolu par l'inclinaison des fentes permettant d'envoyer une partie de la lumière de l'étoile vers une lunette guide. Il ne mentionne pas le problème principal de cet appareil : la rotation du champ, sujet difficile à résoudre en ce qui concerne l'observation des étoiles hors du centre. Cette question sera l'objet de nombreuses publications en France (Lippmann ou Cornu par exemple, ce dernier publiant un article sur le sujet dans l'*Astrophysical Journal*), ou à l'étranger : le sidérostat est-il alors bien adapté à la mesure des vitesses radiales ? En fait, Deslandres va très rapidement utiliser uniquement le télescope de 1,20 m pour l'étude des spectres stellaires, malgré la faiblesse optique de son miroir et les désagréments causés par sa dimension et sa disposition (du type Newton). Quant au choix de la méthode spectroscopique, la pratique de Deslandres, comme celle de Cornu que nous avons étudiée précédemment, est souvent la recherche de solutions techniques hybrides. Lorsqu'il décrit les deux grandes façons de faire de la spectroscopie stellaire au début de ses recherches, il note bien que l'on peut soit utiliser une disposition avec une fente étroite (pour la mesure de précision des longueurs d'onde) ou le prisme objectif (pour l'enregistrement de nombreux spectres sur une même plaque). Deslandres va très vite mettre au point une solution intermédiaire, un compromis entre ces deux méthodes : « Partant de cette idée, j'ai été conduit à une méthode mixte qui présente les principaux avantages des deux précédentes et qui consiste à réunir dans un même appareil les deux dispositifs du prisme objectif et du spectroscope à fente, mais en leur donnant le même prisme et la même chambre photographique. Chacune des deux parties est alors employée pour la tâche dont elle est capable : le prisme objectif sert à juxtaposer les spectres stellaires ; le spectroscope à fente

---

[603] DESLANDRES, Henri, «Recherches sur le mouvement radial des astres avec le sidérostat de l'Observatoire de Paris», *CRAS*, t.113, 1891, p.737-739.

[604] D'après le Centre de Données de Strasbourg, cette vitesse mesurée aujourd'hui vaut -7,6 km/s.

juxtapose les spectres terrestres. »[605] Pour plus de lisibilité, nous résumerons alors dans le tableau ci-dessous les résultats obtenus par Deslandres à l'OP en ce qui concerne la spectroscopie stellaire.

Date et références	Astre étudié	Matériel	Résultats ; Remarques
8/10/1890 *CRAS*, 1891, t.112, p.413	α Lyre	Sidérostat objectif 12 pouces spectroscope à fente (prisme 60°) durée de pose : 1h Magnitude limite : 1ère grandeur Spectre de 3 cm 1/200 mm représente 5 ou 8 km/s	Intervient dans le débat Fowler-Vogel-Pickering sur le dédoublement périodique de la raie K
3/03/1891 *CRAS*, 1891, t.113, p.737 *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000.	Sirius	Idem	Composition chimique : H, Fe, Ca Spectre de comparaison : le fer v = -1,2 km/s
2/02/1892,5/02/1891, 12/04/1892 *CRAS*, 1892, t.115, p.783. *La Nature*, 1893, p.275. *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000, op.cit.*	Capella (αCocher) β Cocher Vénus	Télescope de 1,20m 1/200 mm représente 11km/s	Mesures des vitesses radiales.
1892 *CRAS*, 1892, t.115, p.222.	Etoiles temporaire du Cocher	Idem	Rapprochement avec une protubérance solaire extraordinaire : lien solaire/stellaire : analogies induites par l'observation des renversements des raies.
30 août 1893 *CRAS*, 1894, t.119, p.1252	ζ Hercule	Idem Mesure de la position des raies par un micromètre monté sur oculaire de microscope.	Réflexion sur les causes d'erreurs : télescope de faible qualité optique, temps de pose nécessairement long, difficulté dans l'enregistrement des

[605] DESLANDRES, Henri, « Méthode pour étudier les vitesses radiales des astres avec de faibles instruments », *Astronomische Nachriten*, 139, 1894, p.241-242.

			spectres témoins quant aux variations de température. Comparaison avec Vogel et Belopolski.
du 8/07/1892 au 25/09/1895 *CRAS*, 1895, t.121, p.629.	Altaïr	Idem	1)Reconnaissance d'une atmosphère stellaire par le renversement des raies 2) Mesures de vitesses radiales. Recherche de périodicités pour la détection d'étoiles multiples : $V = T - m_1/M.(v_1 - T) - m_2/M.(v_2 - T)$-… T : vitesse due au mouvement de translation du soleil.
1893 puis 23/11/1894 *CRAS*, 1895, t.120, p.417.	Jupiter	Idem	Recherche effectuée sur les conseils de Poincaré pour étudier l'influence du mouvement de la source et de l'observateur sur les phénomènes lumineux, en vue de la confirmation expérimentale de la loi du déplacement double Mesure par la méthode de l'inclinaison des raies
Avril-mai 1895 *CRAS*, 1895, t.120, p.1155	Saturne	Idem	1)Nature des anneaux (mesure de leur vitesse de l'intérieur vers l'extérieur) 2) Confirmation de la loi du déplacement double

Tableau 1 : Matériel et résultats obtenus par Deslandres lors de ses recherches de spectroscopie stellaire à l'OP

Fig2.4.6: Le spectroscope monté sur le télescope de 1,20 m de l'Observatoire de Paris.
Source : ESPITALLIER, G., «La vitesse des étoiles et les études spectrales de M. Deslandres«, *La Nature*, 1893, 21e année, 1er semestre, p.275-278 et DESLANDRES, Henri, « Causes d'erreurs dans la recherche des vitesses radiales des astres. Importance

de l'erreur due aux variations de température. Méthodes de correction. », *Bulletin Astronomique*, 15, 1898, p.56.

<u>Fig2.4.7:</u> Le spectre de Jupiter obtenu par Deslandres et Millochau à l'Observatoire de Paris

<u>Source :</u> MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.88.

Nous verrons plus tard que Deslandres poursuivra en partie ce travail à l'observatoire de Meudon. Mais pour cette partie « parisienne », quelle reconnaissance scientifique Deslandres va-t-il recevoir ? Il paraît tout d'abord surprenant qu'Alfred Cornu, dans plusieurs articles consacrés au sujet[606], ne mentionne pas Deslandres. Cornu y expose l'espoir suscité par la spectroscopie, la photographie, et bien évidemment la « spectrophotographie », ainsi que par la mesure des vitesses radiales, qui permettra d'obtenir la vitesse du système solaire dans son mouvement de translation vers la constellation d'Hercule. Si Cornu juge ces nouvelles méthodes comme un legs de l'« Optique moderne « qui permettra de résoudre les grands problèmes de l'Astronomie moderne (« mouvement orbital des étoiles, translation des systèmes stellaires, celle de notre système solaire, la transformation des nébuleuses »[607]) , il sait aussi se montrer circonspect sur la tentation de spéculer au-delà des données observationnelles : « Ces calculs aventureux trouvent évidemment leur excuse dans le désir de pousser aussi loin que possible les conséquences des observations spectrales ; ils ont le même bon côté d'ouvrir des perspectives intéressantes en montrant le lien, de plus en plus solide, entre les méthodes de la Mécanique céleste et celles de l'Optique moderne ; mais il faut nettement séparer les faits bien établis des hypothèses additionnelles, sans quoi on risquerait d'attribuer aux méthodes rigoureuses les erreurs provenant d'appréciations arbitraires »[608]. Et

---

[606] CORNU, Alfred, «Sur la méthode Doppler-Fizeau», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1891, p.D1-D40 ; CORNU, Alfred, «L'œuvre astrophysique de Fizeau«, *L'Astronomie*, 1897, p.457-461 ; CORNU, Alfred, « La Photographie céleste », Conférence du 17 janvier 1892, *Annales du CNAM ;*CORNU, Alfred, «La photographie des spectres d'étoiles», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1899, p.377-382.

[607] CORNU, Alfred, « Sur la méthode Doppler-Fizeau », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1891, p.D39.

[608] *Ibid.*, p.D36. On sent également cette appréhension du dépassement de l'observation et du risque de l'hypothèse quand il écrit : « L'astronomie moderne, débarrassée de toutes les considérations mystiques qui ont longtemps arrêté son essor, rattache ses investigations à toutes les sciences, dont elle réclame l'aide, et, par une

Cornu de citer alors les travaux de savants étrangers comme Vogel, Pickering ou Young, ainsi que les recherches pionnières de Thollon, ce dernier associé à Gouy lors de la spectrophotométrie de la comète Wells en 1882. Quelle relation entretiennent alors Cornu et Deslandres, après le départ de celui-ci pour la Sorbonne en 1888, puis à son arrivée à l'OP ? Nous n'avons pas d'éléments sur cette question, hormis l'évocation d'un contentieux personnel rapporté par Audoin Dollfus : Deslandres, devait épouser la fille de Cornu, mais aurait oublié de venir aux fiançailles, absorbé par ses recherches dans son laboratoire[609]. Est-ce là une source de rancœur entre les deux hommes ? Car d'un autre côté, Cornu va également favoriser la carrière de Deslandres, par l'appui qu'il lui apportera dans certaines occasions, notamment pour lui obtenir auprès du ministre de l'Instruction Publique des missions scientifiques[610]. Appui sincère pour une méthode instrumentale que Cornu teinte d'un certain positivisme encore d'actualité ou d'ignorance volontaire pour l'investissement de Deslandres : nous ne pouvons ici décrire mieux l'évolution des relations entre le maître et son élève.

A l'étranger, Deslandres n'est pas non plus cité avec enthousiasme, notamment à cause des critiques que lui-même émet sur les pratiques de ses « concurrents ». Ce sera notamment le cas en 1898, suite à un article de Deslandres sur les causes d'erreur, et qui fera réagir violemment Vogel[611]. Deslandres pointe dans son article la disposition optique adoptée par Vogel à Potsdam, disposition entraînant une erreur systématique lors de la comparaison des spectres stellaires, ainsi que la méthode photographique employée, source d'erreurs liées aux variations de température. Vogel va répondre avec vigueur à l'ensemble des objections

---

réciprocité remarquable, elle leur rend les plus grands services par les problèmes nouveaux qu'elle leur propose ». Cité in « La photographie des spectres d'étoiles», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1899, p.377. Cornu évoque souvent le fait que c'est la précision requise par cette astronomie moderne qui aboutit à des progrès dans le domaine de l'instrumentation.

[609] DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, février 2003, p.69 ; nous remercions également Audoin Dollfus pour l'évocation de ces souvenirs, en partie rapportés par Bernard Lyot, lors de notre entretien à Meudon le 18 avril 2005.

[610] A l'instar de cette lettre que nous avons retrouvée aux Archives Nationales, où Cornu, en tant que Vice-Président du Bureau des Longitudes écrit en 1897 : « M. Deslandres devant partir incessamment aux Etats-Unis à l'occasion de l'inauguration de l'Observatoire de Chicago, désirerait profiter de ce voyage pour visiter les observatoires et les établissements scientfiques qui se rattachent à ses études. Dans ces conditions, M. Deslandres estime qu'une mission gratuite de votre ministère lui serait d'un utile secours pour être bien accueilli et en a témoigné le désir au Bureau. Le Bureau des Longitudes appuie vivement auprès de vous cette demande d'un savant qui a déjà rempli, à son honneur, deux missions importantes. », *AN*, F17 2955 A.

[611] DESLANDRES, Henri, « Causes d'erreurs dans la recherche des vitesses radiales des astres. Importance de l'erreur due aux variations de température. Méthodes de correction », *Bulletin Astronomique***,** février 1898, vol.15. VOGEL, H.C., « Sources of error in investigations on the motion of stars in the line of sight. », *Astronomische Nachriten*, n°3483, mars 1898, reproduit dans *Astrophysical Journal*, vol.7, avril 1898, p.249-254.

soulevées par Deslandres : «M. Deslandres allows himself to make charges to which I must emphatically reply, since his suppositions are incorrect and are to be ascribed to the haste, which is wholly inexcusable in view of the gravity of the charges, with which M. Deslandres has read Vol. VII of the *Publicationen des Astrophysikalischen Observatoriums* »[612]. Il utilise également l'article de Cornu sur la méthode de Doppler-Fizeau paru dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* en 1891 pour montrer à Deslandres et à la communauté internationale qu'un physicien français aussi réputé que Cornu avait déjà accueilli ses travaux et ses méthodes avec bienveillance, et termine par un avis lapidaire sur les remarques de Deslandres . L'article de Vogel paraît et dans *Astronomische Nachriten* et dans l'*Astrophysical Journal*, ce qui montre que ce dernier journal devient le lieu obligatoire des débats internationaux dans le domaine de l'astronomie physique. Deslandres répond d'ailleurs immédiatement à Vogel dans les deux mêmes journaux[613]. Tout en notant l'extrême admiration qu'il porte pour les travaux de Vogel, le spécialiste incontesté de la spectroscopie stellaire sur le plan international, Deslandres réitère ses remarques et montre ainsi, comme beaucoup d'instrumentalistes français, qu'il cherche avant tout à augmenter la précision des mesures, à identifier puis minimiser les sources d'erreurs dans les dispositifs instrumentaux. C'est clairement le cas pour Cornu comme pour un grand nombre de physiciens de l'époque, plus portés vers la perfection du matériel que vers l'exploitation de leurs mesures[614].

2.4.3 Vers l'imagerie solaire

Si polémique il y eut avec Vogel, Deslandres entra plus ouvertement et plus longuement en conflit avec George Ellery Hale au sujet de la paternité du spectrohéliographe. En effet, si Deslandres fut employé par Mouchez dans le but très explicite de développer la spectroscopie

---

[612] « M. Deslandres se permet de faire des critiques auxquelles je dois répondre énergiquement, puisque ses suppositions sont incorrectes et doivent être attribuées à l'empressement, qui est totalement inexcusable au regard de la gravité des critiques, avec laquelle M. Deslandres a lu le Vol. VII of the *Publicationen des Astrophysikalischen Observatoriums* » ; VOGEL, H.C., *op.cit.*, p.249.

[613] DESLANDRES, Henri, «Remarques sur les méthodes employées dans la Recherche des Vitesses radiales des Astres », *Astronomische Nachriten*, 148, 1898, p.23-28. Reproduit dans *Astrophysical Journal*, vol.9, 1899, p.167.

[614] Voir par exemple : BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.35. Charlotte Bigg a montré comment la recherché systématique des erreurs générées par les appareils de mesure pouvaient être source, chez ces instrumentalistes, d'innovation. Voir également : DORRIES, Matthias, «Balances, spectroscopes, and the Reflexive Nature of Experiment», *Studies in History and Philosphy of Science*, 25, 1994, p.1-36.

stellaire, il ne tardera pas à s'impliquer beaucoup plus activement dans le domaine de la spectroscopie solaire, notamment grâce à l'invention du spectrohéliographe. Très récemment, Audoin Dollfus a consacré plusieurs articles à la mise au point par Deslandres de cet appareil, à Paris tout d'abord puis à Meudon : nous renverrons donc à ces articles pour une chronologie exacte et pour la richesse des illustrations[615]. Nous nous contenterons ici de dégager les points importants de cette recherche, ainsi que de définir la pratique et l'héritage scientifique de Deslandres.

Lorsque Deslandres réalise que le sidérostat de Foucault de l'OP n'est pas l'appareil le mieux adapté à la spectroscopie stellaire, il en vient à l'utiliser pour la spectroscopie solaire. L'un des problèmes de l'époque, au regard de l'imagerie solaire, est photographie du contour du Soleil, et notamment les protubérances. Leur observation visuelle se fait tous les jours dans de nombreux observatoires dans le monde entier, par la méthode imaginée par Janssen et Lockyer suite à l'observation de l'éclipse de 1868. Mais la technique au début des années 1890 ne permet pas encore de disposer de supports sensibles au rouge, correspondant à la raie Hα couramment employée pour l'observation des protubérances. S'emparant du problème, Deslandres arrive à constater, au printemps 1891, que les raies H et K du calcium (raies de Fraunhofer dans le violet c'est-à-dire une région du spectre très actinique) apparaissent brillantes, intenses et longues lorsque l'on observe uniquement les protubérances à l'aide d'une fente étroite. Ces raies dans le violet peuvent ainsi assurer la photographie du bord solaire : « La grande largeur du fond noir sur lequel elles se projettent leur assure cet avantage et même explique jusqu'à un certain point leur grande extension. Avec les raies de l'hydrogène, au contraire, la découverte des protubérances a été, comme on sait, arrêtée pendant deux ans, par la dispersion insuffisante des appareils »[616]. Deslandres a alors l'ambition d'obtenir et les formes des masses à la surface du soleil, et leurs vitesses radiales, par deux procédés fonctionnant en même temps, avec la même lumière. On peut ici reproduire l'objectif qu'il se donne dès sa première publication :

> Le spectroscope, qui peut être quelconque, tourne tout d'une pièce autour d'un axe passant par le centre de l'image solaire et prolongeant l'axe optique de l'objectif. Le milieu de la fente est sur le bord solaire dont il rencontre successivement tous les points par la rotation de l'appareil. Devant la plaque photographique, on place

[615] DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, février et mars-avril 2003, p.68-74 et p.148-153, mars-avril 2005, p.150-159.
[616] DESLANDRES, Henri, «Recherches nouvelles sur l'atmosphère solaire», *CRAS*, t.113, 1891, p.309.

une fente fixe qui correspond à la raie K du calcium. De plus, la plaque est mobile, de manière que, à un déplacement du milieu de la fente, corresponde un déplacement égal de la plaque. Ce résultat est assuré par de simples engrenages. Si donc le spectroscope tourne d'une manière continue avec une vitesse convenable, on obtient, sur la plaque, une bande de longueur égale à la circonférence du Soleil, qui donne toutes les protubérances avec leur forme exacte. Mais la vitesse des protubérances n'est pas donnée par ce procédé. Aussi convient-il de donner à l'appareil une série de rotations rapides, séparées par des poses de deux secondes, de manière à avoir sur la plaque, par exemple, 200 sections équidistantes de la chromosphère sur tout le pourtour solaire.[617]

Dans la pratique, Deslandres construira des appareils qui donneront successivement les formes et les vitesses, et non les deux en même temps comme il l'envisage à ce moment.

Fig. 2.4.8: Premières photographies du bord solaire par Deslandres.
Source : DESLANDRES, Henri, « Partie basse de l'atmosphère solaire. Photographies spectrales », *Archives de l'observatoire de Meudon*.

Cette première communication va susciter un vif intérêt chez George Ellery Hale. Ce jeune astronome américain (il est né en 1868 et a donc seulement 23 ans à ce moment), qui dès l'âge de 17 ans au moins fabrique ses propres spectroscopes et observe le soleil, est occupé depuis 1889 à résoudre le problème de la photographie des protubérances[618]. Durant l'été 1891, Hale entreprend un voyage en Europe, où il va rencontrer les spécialistes européens de la spectroscopie astronomique, dont Huggins. C'est à Cardiff, où il participe au congrès de la BAAS (British Association for the Advancement of Science) que Hale prend connaissance de l'article pionnier de Deslandres, et décide alors de partir sur le champ en France pour rencontrer le savant français[619]. Hale, d'après sa correspondance étudiée par Helen Wright,

---

[617] *Ibid.*
[618] A propos de Hale, on consultera : WRIGHT, Helen, *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966 ; DUNHAM, Theodore Jr., « George Ellery Hale », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 99, 1939, p.322-328 ; ZIRIN, Harold, « George Ellery Hale 1868-1938 », *Solar Physics*, 5, 1968, p.435-441 ; ABETTI, Giorgio, « Recollections of George Ellery Hale », *Astronomical Society of the Pacific*, 8, 1961, p.287-294 ; BABCOCK, Harold, « George Ellery Hale », *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 50, 1938, p.156-165 ; ADAMS, Walter S., « George Ellery Hale », *Astrophysical Journal*, 87, 1938, p.369-388 ; LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940 », *Physics Today*, 49, 1996, p.34-41.
[619] Les faits sont rapportés par Helen Wright dans sa biographie de Hale citée au-dessus. Si l'on peut relever avec intérêt les extraits de la correspondance de Hale cités dans cet ouvrage, l'ensemble est cependant très hagiographique, et l'on peut noter quelques erreurs : en effet, lors de leur première rencontre, Deslandres est astronome à l'OP et non directeur de l'observatoire de Meudon (p.83).

semble indiquer, après sa rencontre avec Deslandres, que celui-ci s'est intéressé aux raies H et K par hasard, alors qu'il tentait de corriger son objectif de '12 pouces' : il aurait vu les raies très brillantes du calcium de façon accidentelle. Il est évident que le hasard, comme le disait Pasteur, ne favorise que les esprits préparés : comme nous l'avons vu, Deslandres mène, depuis le début des années 1880 des recherches spectroscopiques en particulier dans l'utraviolet, à l'instar de son maître Cornu. Deslandres est donc très sensibilisé à l'étude de cette partie du spectre solaire, et il est toujours, à la suite de Cornu, avide de compléter la série des raies attribuées à l'hydrogène. Dès sa première communication le 17 août 1891, il mentionne la découverte de deux raies nouvelles permanentes qui correspondent aux deux premières raies de l'hydrogène de la série stellaire de Huggins trouvée dans les étoiles blanches ; dans une communication à l'Académie le 8 février 1892, il affirme également avoir obtenu par la photographie la série entière de ces raies ultraviolettes de l'hydrogène. Ainsi, comme le note Hale, « Deslandres's results were confined entirely to the spectrum »[620]. La première visite de Hale semble donc amicale, Hale décrivant Deslandres « a nice fellow indeed »[621]. Après la Grande Bretagne et la France, ce « jeune homme impétueux », comme le qualifie Helen Wright, rend visite à de nombreux savants européens, à Cologne, Berlin, Leipzig, Francfort, Milan, Genève, Nice, et revient alors à Paris, où Deslandres l'accueille, et l'invite, lui et sa femme, à dîner et à l'Opéra. Entre temps, Deslandres a remplacé dans son dispositif les prismes par un réseau de Rowland, « using it as I told him »[622] semble avancer Hale. Deslandres possède en effet un réseau depuis 1887, que Rowland lui a donné en mains propres[623], réseau de 560 traits par millimètre, d'une hauteur striée de 55mm et d'une largeur de 80mm lui conférant dans le 4ème ordre une résolution spectrale considérable de 180 000. Deslandres a déjà utilisé ce réseau, ayant écrit à Rowland en juillet 1889 et février 1890 pour lui signifier l'apparition de « spectres supplémentaires »[624]. Cette substitution lui permet alors d'obtenir de nouvelles raies de l'hydrogène comme nous venons de le voir. Hale note la course que semble donc se livrer les deux hommes : « He had 2 before, and we have 4, so he is a little ahead.[…] But I am inclined to think he will have to hustle to keep ahead if I know

---

620 WRIGHT, Helen, *op.cit.*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966, p.83.
621 *Ibid.*
622 *Ibid.*
623 DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, mars-avril 2003, p.149.
624 SWEETNAM, George, « Henri Rowland, the concave diffraction grating, and the analysis of light », in *The Values of Precision*, WISE, Norton (dir.), Princeton University Press, 1995, p.294.

myself »[625]. Dans sa correspondance, Hale remarque que Deslandres lui reconnaît la priorité de la première photographie et de la première publication, ainsi que la qualité supérieure de ses clichés. Mais suite à cette visite, Wright indique que Deslandres oubliera volontairement cette reconnaissance pour affirmer le contraire, et que Hale tâchera de récupérer son dû avec un comportement le plus pacifique et arrangeant possible, étant par nature un homme rebuté par les querelles et les polémiques : « How often I have refrained from answering his caustic and unfair criticisms because of my dislike of quarrels »[626].

Pour sa part, Deslandres met en avant le manque de ressources à sa disposition, ceci l'ayant empêché de fabriquer son appareil avant 1893 (année où il reçoit des fonds spécialement pour la mise au point de son appareil), malgré l'exposition de son principe dès 1891. Les relations amicales du début vont devenir beaucoup moins sereines, à tel point qu'en septembre 1893, lors d'une nouvelle visite de Hale, celui décrira leur entrevue de la façon suivante : « without bloodshed.[…] As I expected, « the rotating spectroscope » has never been constructed but he has adopted one of my spectroheliographs. »[627] Quelles différences possèdent alors les appareils fabriqués par Deslandres et par son concurrent américain. Si les nombreuses notes rédigées par les deux savants fourmillent de points de détails, de précisions extrêmement pointilleuses pour signifier à chaque fois que leurs appareils sont radicalement différents (surtout du point de vue de Deslandres, qui semble se défendre d'un plagiat de sa part à chaque note), on peut souligner quelques divergences importantes.

Fig. 2.4.9: Les spectrohéliographes de Deslandres et Hale.
Source : SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909

Tout d'abord, une différence existe quant au mouvement relatif des divers organes. Chacun des deux appareils possède un système de formation de l'image du soleil (lunette et éventuellement sidérostat), une première fente, destinée à isoler une petite surface du soleil et non les rayons provenant de tous les points de la surface solaire, une seconde fente permettant d'isoler une portion du spectre (par exemple la raie K), et enfin la plaque photographique (l'apparition du spectrohéliographe a évidemment permise par les progrès réalisés sur les

[625] « Il en avait 2 avant, et nous en avons 4, il est donc un peu en tête […] Mais je suis enclin à penser qu'il devra pousser le travail pour rester en tête tel que je me connais », cité in WRIGHT, Helen, *op.cit.*, p.84.
[626] « Combien de fois j'ai me suis retenu de répondre à ses critiques mordantes et de mauvaise foi, à cause de ma répugnance pour les querelles » ; cité in WRIGHT, Helen, *op.cit.*, p.85.
[627] « sans effusion de sang […] Comme je le supposais, le « spectroscope rotatif » n'a jamais été construit mais il a adopté l'un de mes spectrohéliographes », *Ibid.*

supports photosensibles, en particulier en termes de sensibilité). A un niveau mécanique, il faut assurer le mouvement relatif de la première fente par rapport à l'image du soleil, et le mouvement relatif de la seconde fente par rapport à la plaque photographique. Le projet de Deslandres a ainsi évolué : du projet de photographie des protubérances sur le pourtour du soleil (le « rotating spectroscope » évoqué par Hale), il passe en fait au même projet de spectrohéliographe que Hale, à savoir la photographie du disque entier du soleil, après avoir pu constater que sur certaines zones du soleil (les facules autour des taches), la raie K apparaissait brillante et non sombre.

1893	Deslandres	Hale
Appareil dispersif	1 prisme unique en flint léger de 60°	Réseau dans le 4ème ordre
Dispersion	Faible (et fentes fines)	Forte (et fentes larges)
Entraînement mécanique	Clepsydre à écoulement de glycérine	Hydraulique
Elément fixe	Image solaire donnée par un sidérostat et un objectif de 0,12m	Plaque photographique.

Tableau 2 : comparaison des spectrohéliographes de Deslandres et Hale

Au delà de la revendication d'un objet technique, la polémique se poursuit au sujet de l'interprétation des images obtenues. Car là où Hale pense que les raies brillantes sont dues aux facules elles-mêmes, Deslandres, par l'analyse des renversements, des formes et des intensités des raies, estime pour sa part que les raies brillantes décèlent des flammes gazeuses au-dessus des facules, ces dernières n'étant que le squelette sur lequel les flammes se fixent : « Hale les place [les vapeurs] au-dessous de la surface et, en particulier, dans les parties hautes qui sont les facules. Deslandres, au contraire, les place au-dessus de la surface, dans

l'atmosphère même de l'astre. De là une discussion très vive qui a pris fin seulement dans les derniers mois de l'année 1894 »[628]. Cette difficulté d'interprétation du flot d'images généré par la création de nouveaux appareils imageurs sera longtemps une source de problèmes pour la discipline, notamment en ce qui concerne la nomenclature. On peut par exemple citer Deslandres en 1905 lors du deuxième Congrès sur les Recherches Solaires à Oxford :

> Quant aux images de ces appareils, les premières dues aux raies brillantes du calcium, ont été appelées par Hale *photographies de facules*, les grandes plages brillantes des vapeurs étant en accord avec les facules bien visibles de la surface ; les petites plages brillantes formaient le *réseau faculaire*. De mon côté, j'ai employé les mots : *photographies de la chromosphère* et *réseau chromosphérique* ; j'ai appelé les plages brillantes *flammes faculaires* et, l'année dernière, j'ai proposé le mot *faculide*.[629]

Visualiser les seules formes des masses gazeuses constitutives de l'atmosphère solaire entre la photosphère et la couronne n'est donc pas suffisant pour Deslandres : il lui faut aussi obtenir la vitesse de ces masses, de façon à comprendre au mieux la dynamique de système. Et sur ce point, Deslandres est le seul à proposer en même temps un spectroenregistreur des vitesses, nom qu'il donne à son appareil pour le distinguer du spectrohéliographe, ainsi baptisé par Hale.

Fig. 2.4.10: Spectre de sections successives faites sur le disque solaire et montrant des raies brillantes (K) qui décèlent les vapeurs de la chromosphère autour d'une tache (9 février 1892).
Source : DESLANDRES, Henri, « Partie basse de l'atmosphère solaire. Photographies spectrales », *Archives de l'observatoire de Meudon.*

Les notes rédigées par les deux concurrents révèlent donc la tension forte existant entre eux, ces notes étant l'occasion de réclamation de priorité ou de précision sur l'originalité ou la

---

[628] DESLANDRES, Henri, « Histoire des idées et des recherches sur le Soleil », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1907, p. C107.
[629] DESLANDRES, Henri, « Sur le sens précis de mots anciens et sur le choix de mots nouveaux », Papers communicated to the Second Conference, held at Oxford, Sept. 1905. Transaction of the International Union for Cooperation in Solar Research, vol.1, 1906, p.193.

spécificité de chaque appareil. Finalement, en l'espace de trois ans, de 1891 à 1894, c'est une vingtaine de notes que les deux hommes vont s'échanger sur le sujet, aboutissant à l'attribution du prix Janssen à George Hale, pour son spectrohéliographe et pour la fondation de son observatoire d'astrophysique à Chicago… Deslandres obtiendra le même prix Janssen (délivré par l'AdS) en 1896, pour l'ensemble de ses travaux (spectroscopie, imagerie solaire), mais également et surtout pour ses deux voyages au Sénégal et au Japon au cours desquels il observera des éclipses de soleil. A l'occasion de ces deux prix, Janssen, qui en est le rapporteur, insiste à chaque fois sur l'origine du spectrohéliographe : ses propres travaux de 1868 et la méthode qu'il propose l'année suivante pour observer les protubérances. La polémique trouve ici sa résolution : c'est finalement à Janssen que revient l'idée de l'appareil, Janssen devenant du même coup une figure mythique à laquelle se référer, une figure qui aide la discipline à construire son histoire et ses mythes, un personnage emblématique apte à arbitrer les différends, un aventurier sur les traces de qui il faut marcher, imposant les voyages scientifiques, les poursuites d'éclipse, les observatoires spécialisés et ceux de montagne comme éléments clés de la nouvelle discipline.

2.4.4 Affirmation d'une pratique spécifique : l'image et la mesure, entre Cornu et Janssen

Cette polémique entre Hale et Deslandres nous fait sentir la nécessité de définir dans quel cadre et quel contexte Deslandres innove à cette époque. Nous tâcherons donc de préciser en quoi ses travaux montrent une continuité technique plus qu'une rupture. Tout d'abord, nous avons déjà vu en quoi Deslandres, disciple de Cornu, est l'héritier d'une tradition qui se veut fresnélienne. Ses travaux sont avant tout des travaux d'optique et nous font adopter à nouveau l'idée de Charlotte Bigg à ce sujet : avant d'être astronome, Deslandres est avant tout un physicien opticien. Il utilise les ressources à sa disposition avec un art évident et une capacité d'improvisation technique. Audoin Dollfus remarque comment Deslandres, quand il arrive à l'OP puis à Meudon, trouve une partie du matériel dans les placards : organes métalliques, pièces optiques…» La virtuosité caractérise Deslandres pour ces adaptations

instrumentales »[630]. Et c'est alors une partie des sujets et des méthodes de Cornu que Deslandres réinvestit : recherche de l'achromatisme des objectifs par écartement des verres, investigation du spectre solaire dans la partie ultraviolette, découverte de la série entière des raies de l'hydrogène dans l'ultraviolet grâce au pouvoir prédictif de lois empiriques (notamment la loi de Balmer), rôle heuristique du renversement des raies, prédominance d'un matériel simple, facile d'utilisation, réarrangeable à volonté et non spécialisé de façon définitive. Sur ce dernier point, on saisit la différence avec l'approche de Janssen : ce dernier pense en effet que « les progrès de la Science exigent aujourd'hui qu'on spécialise de plus en plus les instruments »[631]. Si Deslandres fustige pour sa part l'insuffisance des moyens mis à disposition de la recherche et l'impossibilité d'un matériel spécialisé[632], on ne peut que constater ses remarques continuelles sur les qualificatifs qu'il utilise souvent pour ses appareils : « très simples, d'un montage facile »… Comme nous l'avons vu pour la spectroscopie stellaire, Deslandres ne cherche jamais à atteindre un seul but, mais veut obtenir plusieurs informations à la fois : en l'occurrence ici la forme et la vitesse des masses à la surface du soleil. Finalement, si la spécialisation du matériel est une évidence dans tous les domaines scientifiques en cette fin de XIX^{ème} siècle, un contexte particulier (économique, technique) caractérise le cas français, où la permanence d'une pratique expérimentale « virtuose » empêche justement une trop forte spécialisation d'un matériel perdant alors sa raison d'être : un objet d'études à lui seul.

Il faut aussi invoquer la non spécialisation des domaines, l'unité des sciences étant le support d'analogies fécondes, comme le note Deslandres : « La Météorologie terrestre et la Physique solaire, qui sont séparées par les nécessités de la division du travail, sont en réalité des sciences connexes, qui, par la nature même des choses, doivent se prêter un mutuel appui »[633]. Et l'induction fonctionne de pair avec l'analogie chez Deslandres : si l'on observe des décharges électriques dans l'atmosphère terrestre entre deux couches de particules (des particules liquides dans les cumulus et des particules solides dans les cirrus), de même

---

[630] DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, février 2003, p.71.

[631] JANSSEN, Jules, « Remarques sur la communication précédente de M. Deslandres », *CRAS*, 1899, t.128, p.1379.

[632] A l'occasion du rapport qu'il écrit sur son observation de l'éclipse de 1893, Deslandres remarque ainsi que « L'Observatoire de Paris, en effet, ne dispose pas d'un matériel spécial pour les éclipses. Par contre, en Angleterre,où il est admis en principe que toute éclipse doit être observée, un Comité spécial est constitué en permanence pour la préparation des missions, et ce Comité dispose de fonds spéciaux et surtout d'un matériel spécial, éprouvé, et approprié à ces recherches. ». DESLANDRES, Henri, *Observations de l'eclipse totale du soleil du 16 avril 1893. Rapport de la mission envoyée au Sénégal par le Bureau des Longitudes pour l'étude physique du phénomène*, Paris, Gauthier-Villars, 1896, p.C7.

[633] *Ibid.*, p.C74.

l'atmosphère solaire peut être comprise dans l'hypothèse déjà émise par Fizeau, où la chromosphère est le siège de flammes électriques entre la photosphère (liquide) et la couronne (solide) ; les identités de mouvements (décelés par son spectroenregistreur des vitesses pour l'atmosphère solaire) sont remarquables, quand les mouvements de l'air dans l'atmosphère terrestre sont plus intenses près des cirrus et les mouvements de la chromosphère eux aussi reconnus pour être considérables près de la couronne[634]. L'analogie et l'induction fonctionnent aussi du soleil vers les étoiles : dès 1893[635], Deslandres pense que les renversements qu'il étudie dans l'atmosphère solaire pourront être décelés dans les atmosphères stellaires. Cette remarque lui vaudra à nouveau les critiques de Hale[636] (nous trouverons plus en avant ces questions au chapitre 3.2).

Les travaux de Deslandres montrent donc l'étendue de l'héritage transmis par Cornu, mais on peut aussi voir de quelle façon Deslandres participe au « furieux désir de voir »[637] comme l'a souligné Monique Sicard. Deslandres est un « savant de l'image », pour qui l'outil d'observation devient une fin en soi, plus que l'objectif scientifique initialement prévu, ce réflexe étant caractéristique non seulement de ces polytechniciens porteurs d'une tradition de l'optique française, mais également de ces inventeurs qu'ont été Janssen ou Marey : « De moyen, les outils du regard se transformaient en fin »[638]. Au delà de sa formation polytechnicienne, Deslandres, qui avait « peu de goût pour les mathématiques pures »[639], est finalement plus porté vers l'imagerie que vers la mesure, vers un projet de visualisation plus que de métrologie (métrologie que développeront par exemple les polytechniciens Alfred Pérot et Charles Fabry, eux-mêmes disciples et continuateurs de l'œuvre de Cornu), donnant à l'astronomie physique française le caractère naturaliste qu'elle avait déjà en germe chez Janssen[640]. Finalement, il paraît intéressant de situer Deslandres dans un contexte scientifique

---

634 DESLANDRES, Henri, «Sur la recherche de la partie de l'atmosphère coronale du Soleil projetée sur le disque », *CRAS*, t.117, 1893, p.1053-1056.
635 DESLANDRES, Henri, «Résultats nouveaux sur l'hydrogène obtenus par l'étude spectrale du Soleil. Rapprochements avec l'étoile nouvelle du Cocher», *CRAS*, t.115, 1892, p.222-225 ; «Sur les propriétés des facules «, *CRAS*, t.116, 1893, p.238-240.
636 HALE, G., « Les raies H et K dans le spectre des facules solaires », *CRAS*, 1893, t.116, p.170-172.
637 SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Paris, Les Empêcheurs de penser en rond, 1994, p.107.
638 *Ibid*.
639 BOSLER, Jean, «Henri-Alexandre DESLANDRES», op.cit., p.71.
640 Monique Sicard caractérise par exemple Janssen comme un « héritier des grands voyageurs naturalistes du XVIIIe siècle », tandis qu'Audoin Dollfus évoque explicitement cette spécificité chez Deslandres : « On trouve très peu de mesures, si ce n'est quelques données sur les vitesses. Malgré quelques schémas, les courbes et graphiques sont rares, les mathématiques absentes. L'esprit est celui des sciences naturelles. Cette exploration

et culturel, contexte très différent de celui de Hale (sur qui nous reviendrons dans la troisième partie). Deslandres est issu d'une tradition scientifique ayant pour traits principaux l'optique et la pratique instrumentale. Selon Monique Sicard, on peut aussi regarder ses travaux dans un cadre plus large :

> Alors même que l'année 1895 voit ainsi se perfectionner l'arrêt sur image et la décomposition photographique du mouvement, elle assiste aux premiers frémissements de l'ébranlement photographique, à la mise en mouvement de l'image. Cette dernière, qui d'abord éclate et se désagrège, se recompose alors et recouvre une intégrité perdue. Au moment même où, plans par plans, les rayons X révèlent la transparence des corps, l'image s'affermit, s'élance et prend rapidement, avec le cinématographe, un nouvel envol.[…]
>
> Il faut se laisser aller aux jeux synchroniques. […] Certes, il y a quelque danger à jouer ainsi avec les hasards de la confrontation : les juxtapositions habiles peuvent facilement conduire à transposer les rapports de causalité, à créer sens de manière artificielle. Mais la mise en synchronie possède le grand avantage de faire surgir l'évidence des passerelles et des cloisonnements, de rendre flagrante la diversité des évolutions techniques. Particulièrement bien placée pour rendre compte des inerties, des permanences, des ruptures, elle relativise d'emblée l'idée d'un progrès linéaire et régulier.[641]

Autour de 1895, le contexte technique est donc propice en France à l'apparition d'appareils comme le spectrohéliographe. Le revolver photographique de Janssen est devenu fusil chez Marey, et les frères Lumière le revendique comme caution scientifique et ancêtre de leur cinématographe. La vision devient dynamique, Deslandres s'inscrivant dans cette recherche lorsqu'il accompagne son spectrohéliographe d'un spectroenregistreur des vitesses : il cherche à voir les mouvements de l'atmosphère solaire par l'enregistrement des diverses couches au dessus de la surface, à connaître et comprendre le mouvement des vapeurs en fonction de l'altitude. Et ceci par une technique qui, depuis le revolver photographique, a déjà trouvé une application dans le cinématographe : le passage d'un mouvement continu de la plaque à un mouvement discontinu, saccadé.

Les appareils de Deslandres, à l'instar des nouvelles photographies issues de la découverte des rayons X, génèrent des images inédites, en profondeur, dont l'interprétation est évidemment difficile, mais laisse espérer de grandes découvertes concernant la constitution de la matière. Le physicien Deslandres participe à ce projet, puisque, immédiatement après 1895, il va s'intéresser de très près aux rayons cathodiques sur lesquels vont travailler beaucoup de

---

descriptive est bien caractéristique des débuts de la physique solaire », cité in « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, mars-avril 2005, p.159.

641 SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, 1994, p.9-11.

savants, quoique peu de français. Ses recherches vont donc au fur et à mesure mêler spectres, rayons cathodiques et tourbillons pour aboutir à une théorie cathodique du soleil.

Conclusion de la partie 2

Entre 1874 et , grosso modo, 1895, l'AP en France n'est donc pas cultivée qu'à l'observatoire de Meudon. Ce dernier, où travaille très peu de personnes, est le lieu d'une AP portée vers l'imagerie. L'observatoire n'est qu'une composante d'un assemblage complexe où 'voir' s'accompagne de 'voyager' : observer la Nature *in situ* est une nécessité, tout comme l'obtention de données physiques au laboratoire et l'enregistrement d'images à l'observatoire. La vision de Janssen n'est pas une vision réductrice, mais globale : la Nature ne peut se réduire uniquement à des expériences de laboratoire qui viseraient à re-créer les phénomènes naturels. Dans cette perspective, Janssen va être amené à proposer la création d'un observatoire où la Nature s'exprime d'elle-même : ce sera l'observatoire du Mont Blanc que nous étudierons dans la troisième partie.

La précision des images qui accompagne cette approche implique une spécialisation du matériel : nous avons vu que Janssen revendique un équipement spécifique pour l'AP, sans lien avec l'astronomie pratiquée à l'OP. Toute autre est le style d'Alfred Cornu : le laboratoire offre des données fiables sur les phénomènes naturels, ceci permettant de s'abstraire le plus possible de voyages scientifiques. Contrairement à Janssen, l'AP de Cornu n'est pas une AP de l'aventure, et doit pouvoir être pratiqué sans spécialiser le matériel. Le souci de Cornu n'est pas de développer des études spécifiques à l'OP, mais bien d'appliquer à l'astronomie des méthodes physiques et des appareils dans le but ultime de consolider la physique fresnélienne : l'approche, comme Bigg a pu le montrer, est expérimentale, l'outil devenant objet d'études en lieu et place du phénomène primitivement observé. Ainsi, l'AP à l'OP ne peut qu'être « invitée » sans acquérir d'autonomie dans ses moyens et ses buts.

Contrairement à Janssen encore, la métrologie est une composante majeure de l'approche héritée puis cultivée par Cornu. Janssen cherche à voir les spectres, puis utilise à nouveau les spectres pour mieux voir les phénomènes. Cornu cherche quant à lui à mesurer précisément les positions de ces raies. Le travail de son élève, Deslandres, est tout d'abord dans la continuité de l'approche de Cornu ; par la suite, lorsqu'il dispose de nouveaux moyens à l'OP, Deslandres transfère son savoir et l'expertise spectroscopique acquise auprès de Cornu vers un programme d'imagerie solaire. Il ne poursuit alors pas le projet initial qui lui avait été confié et sur lequel d'autres pays, comme l'Allemagne ou les Etats-Unis, se sont alors

dirigés : la spectroscopie stellaire. Choix volontaire ou contrarié ? Il est vrai que le grand télescope de 1,20 m dont dispose Deslandres à l'OP manifeste une piètre Qualité en dépit de ses performances affichées. Pour y répondre, il faut questionner davantage les présupposés cosmogoniques qui animent la communauté physicienne à laquelle appartient avant tout Deslandres, et tenir compte du renouveau cartésien qui agite les physiciens à un moment particulier où des idées nouvelles émergent et bouleversent la façon d'appréhender les phénomènes naturels. C'est ce que nous allons décrire entre autres dans la troisième partie, qui débute à la fin du XIX^{ème} siècle pour aller jusqu'à la première guerre mondiale. En effet, le début de cette période est marqué par des événements marquants tant sur le plan national qu'international : pour introduire notre troisième partie, on peut citer d'ores et déjà la création de l' *Astrophysical Journal* (résultat de l'attitude volontariste de George Ellery Hale), mort de Fizeau qui va donner lieu à des prises de position marquées, transfert de Deslandres de Paris à Meudon. Il s'agit donc maintenant de savoir comment les idées, et les élèves, de Cornu vont faire vivre cet héritage fresnélien et fizaldien, et si un groupe homogène et représentatif va pouvoir transformer l'ensemble des travaux épars en une discipline évoluant de façon autonome et reconnue.

Partie 3

Pratiques multiples, savants dispersés (1895-1914)

3.1 Politiques d'appropriation de la discipline

Dans les années 1890, les efforts réalisés dans le domaine de l'AP vont susciter des volontés plus ou moins affichées de prises de possession, ou tout du moins à des revendications sur la nature et le devenir de la discipline. L'analyse des publications de ces acteurs à cette époque montre la volonté de chacun d'entre eux d'imprimer sa manière de concevoir et de pratiquer l'AP, ainsi que de l'ancrer dans une histoire et une filiation qui leur sont propres. Ainsi, après avoir décrit l'arrière-plan international qui voit la discipline émerger véritablement, nous tenterons de montrer comment d'un côté, derrière Cornu, se dégage une école influente et spécifique, marquée par une tradition que nous avons décrite précédemment ; et comment de l'autre, l'observatoire de Meudon va entrer dans une époque nouvelle, qui voit la fin du 'règne' de Janssen et l'affirmation de Deslandres comme le leader, en France, du champ émergent de l'AP.

3.1.1 Structuration internationale de la discipline

Après l'époque de gestation de la discipline, initiée dans les années 1860 par les Janssen, Huggins et autres Lockyer ou Secchi, l'AP s'organise au niveau international,au cours des années 1880 et 1890. Ce changement est en grande partie l'œuvre de George Ellery Hale, l'astronome et physicien américain déjà évoqué pour sa concurrence avec Deslandres au sujet de l'invention du spectrohéliographe[642].

Aux Etats-Unis, la discipline est largement favorisée par une culture et des idéaux très différents du cas français. John Lankford a ainsi montré que l'astronomie a facilement incorporé les méthodes industrielles et économiques issues du milieu des affaires, préfigurant la Big Science caractéristique de la science américaine après la 1ère guerre mondiale[643]. Standardisation du matériel, production en masse de données, organisation annonciatrice du

[642] Voir au chapitre 2.4 les références bibliographiques concernant Hale.
[643] LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940», *Physics Today*, 49, 1996, p.34-41.

taylorisme : tel est le modèle industriel que commencent à adopter les observatoires américains à cette époque, observatoires dirigés par des savants sachant se montrer plus chefs d'entreprises que scientifiques, en particulier en ce qui concerne la recherche de fonds, soutenus par une population regardant les entrepreneurs comme des héros nationaux, et par des mécènes n'hésitant pas à investir une partie de leur fortune dans la construction de matériel astronomique. Parmi les figures de savants illustrant cette spécificité américaine, Lankford cite, pour l'astrophysique, Edward Pickering. Celui-ci deviendra directeur de l'observatoire de l'Université de Harvard, le Harvard College Observatory, où il cherchera à obtenir des données fiables sur la luminosité des étoiles et leurs spectres. Disposant de fortes qualités d'organisation et d'administration d'un travail de recherche à grande échelle, Pickering vise ainsi la construction d'un catalogue stellaire regroupant des informations sur la composition chimique des étoiles, leur température, leur masse, leur rotation, et leur vitesse radiale. Ses études photométriques, photographiques et spectroscopiques montrent ainsi un souci d'intégration des erreurs et de leurs corrections, d'uniformisation du concept de magnitude à une échelle internationale, de définition d'un système de classification des étoiles, ceci par le biais d'une standardisation des méthodes de travail, de mécanisation de la production du savoir astronomique et de production en masse de données.[644]

La seconde génération d'entrepreneurs scientifiques que Lankford décrit dans son article, celle de Deslandres en France, comprend William Campbell et George Hale. Diplômé de génie civil de l'Université du Michigan en 1886, Campbell se tourne vers l'astronomie, et tout d'abord vers l'astronomie de position (calcul d'orbites cométaires notamment)[645]. Quelques mois après un travail estival au Lick Observatory, Campbell est engagé dans cet établissement pour y remplacer James Keeler, une autre figure marquante de l'astrophysique américaine. Ce dernier reviendra en 1898 au Lick Observatory pour y prendre la direction, mais décédera deux ans plus tard : Campbell, remplaçant à nouveau Keeler, devient ainsi, en 1901, directeur de l'observatoire prestigieux, situé en Californie, sur le Mont Hamilton s'élevant à 1 400 mètres d'altitude. A l'aide d'une lunette de 91 cm d'ouverture et 17,30 m de distance focale, équipée du « Mills spectrogtaph », Campbell peut réaliser un programme ambitieux de

---

[644] Lankford note qu'en 1890, Pickering aura accumulé 9 000 plaques de données photométriques et spectroscopiques.

[645] MOORE, J.H., «William Wallace Campbell», The *Astrophysical Journal*, vol.89, 1939, p.143-151 ; MERRIL, Paul, W., « William Wallace Campbell », *MNRAS* , vol.99, 1939, p.317-321 ; AITKEN, Robert G., « William Wallace Campbell 1862-1938 », Publications *of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.50, n°296, p.204-209.

spectrographie stellaire : en remplaçant l'observation oculaire par l'enregistrement photographique, Campbell va réaliser un catalogue de vitesses radiales des étoiles comprenant, au bout de 30 ans, 25 000 spectrogrammes sur 2 770 étoiles[646]. Outre l'aspect massif des données enregistrées, le caractère marquant de Campbell réside, comme Pickering, dans ses qualités d'organisateur et d'administrateur. C'est ainsi qu'il sera non seulement directeur du Lick Observatory, mais également président de l' American Association for the Advancement of Science, président de l'International Astronomical Union, président de la National Academy of Sciences, mais aussi président de l'Université de Californie à partir de 1923. C'est sur ce point qu'insiste notamment John Lankford : par ses liens avec l'Université (le Lick Observatory y est rattaché depuis 1888), l'observatoire s'assure la présence d'étudiants (pour le traitement des spectrogrammes notamment) et délivre des diplômes. Ainsi, Campbell tire une partie de sa renommée au sein de la communauté astronomique américaine de sa capacité à avoir suscité le plus grand nombre de thèses en astronomie. Il apparaît ainsi des traits marquants de l'astronomie américaine : l'ouverture de l'observatoire dans le monde universitaire, sa capacité à attirer et diplômer des étudiants vers un domaine émergent, l'attraction qu'elle suscite dans les milieux de la finance pour s'assurer un développement sans précédent.

George Ellery Hale est, pour sa part, un expérimentateur porté par le vif désir d'introduire les méthodes de la physique ou de la chimie dans le domaine de l'astronomie. Issu d'une famille aisée[647], il entre au Massachusetts Institute of Technology en 1886, dont il sort diplômé en 1890. Il effectue sa thèse au Harvard College Observatory sous la direction de Edward Pickering, puis monte avec ses propres moyens son observatoire près de Chicago : le Kenwood Physical Observatory. Ceci est un point important de la personnalité de Hale : Charlotte Bigg et John Lankford insistent tous deux sur la forte capacité de persuasion auprès de mécènes pour la création d'observatoires[648]. Outre cet observatoire privé, dont le fonctionnement reviendra en partie à l'Université de Chicago où Hale est devenu professeur

---

[646] C'est en 1896 que Campbell envisage un programme ambitieux de mesure des vitesses radiales de toutes les étoiles de l'hémisphère nord, de magnitude inférieure à 5,5. Il augmente à cette occasion de façon significative la précision sur cette mesure : quand la précision obtenue à cette époque était de 2,6 km/s, Campbell descend à 0,5km/s. Il généralisera son programme à l'hémisphère sud en installant un observatoire au Chili dès 1903.

[647] William Hale, le père de George, dirige en effet une entreprise florissante axée sur la construction d'ascenseurs. Il équipera notamment la Tour Eiffel.

[648] BIGG, Charlotte, «Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe», Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002, p.33 ; LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940», *Physics Today*, 49, 1996, p.38.

d'astrophysique[649], Hale va fonder deux autres observatoires d'envergure : le Yerkes Observatory, dont la construction s'achèvera en 1897, et le Mount Wilson Observatory en 1904[650]. Mais Hale est aussi un fondateur d'organisations et d'institutions. En 1899, il joue par exemple un rôle important dans l'établissement de l'American Astronomical and Astrophysical Society. De même, il va participer à la modernisation de la National Academy of Sciences et créera le National Research Council, organisme important pour les études postdoctorales aux USA ; il prendra également une part active dans la création du California Institute of Technology. En 1893, il organise, en marge de l'Exposition Universelle de Chicago, le premier Congrès d'Astrophysique auquel participeront entre autres Max Wolf, Hermann von Helmholtz, Pietro Tacchini et le français Eleuthère Mascart. En 1904, il suscite et organise à Saint-Louis la première rencontre de l'International Union for Cooperation in Solar Research, organisation destinée, dans l'esprit de Hale, à uniformiser de façon internationale les méthodes et instruments de la physique solaire, notamment les méthodes spectroscopiques[651]. Cette organisation se réunira à nouveau en 1905 à Oxford, en 1907 à Meudon, en 1910 au Mount Wilson, pour devenir après la première guerre mondiale l'International Astronomical Union, ou UAI. Les efforts de Hale pour définir des programmes communs et des standards de longueurs d'onde ont largement contribué à fonder, à un niveau international, l'astrophysique. Car, comme Charlotte Bigg le note : « The development of spectroscopic standards was thus from the 1880's intertwined with the transformation of astrophysics into a community of practitioners bound by common standards, journals and institutions. »[652] En somme, la visibilité institutionnelle de la discipline a été dépendante de l'établissement, à l'échelle internationale, de normes spectroscopiques.

---

[649] Harper, président de l'Université de Chicago, est arrivé en 1892 à persuader Hale de devenir professeur d'astrophysique à l'Université. Hale ne percevait pas de salaire, mais l'Université s'engageait à participer au fonctionnement du Kenwood Physical Observatory, où les étudiants pouvaient travailler.

[650] Le Yerkes Observatory a été financé par Charles T. Yerkes, de Chicago. Le Mount Wilson Observatory a, pour sa part, été construit grâce à la Carnegie Institution. Ces deux observatoires vont posséder des instruments hors du commun : le Yerkes Observatory abritera, entre autres, une lunette de 1,02 m de diamètre et 19,3 m de distance focale, tandis que le Mount Wilson Observatory recevra un télescope de 2,57 m de diamètre et 12,9 m de focale.

[651] Les procès-verbaux de la conférence tenue à Saint-Louis le 23 septembre 1904 montrent que les communications ont uniquement porté sur l'établissement de standards de longueurs d'onde : « Remarks on standard wave-lengths » par Henry Crew ; « Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueurs d'onde étalons » par Alfred Pérot et Charles Fabry ; « New standards of wave-length » par H. Kayser ; « » The revision of Rowland's system on standard wave-lengths » par Lewis E. Jewell. Voir « International Co-operation in Solar Research », *Astrophysical Journal*, vol.20, décembre 1904, p.301-346.

[652] « Le développement de standards spectroscopiques a ainsi été imbriqué, à partir des années 1880, avec la transformation de l'astrophysique en une communauté de savants rassemblés par des standards, des journaux et des institutions communes. », in BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.34.

Hale est également le fondateur, en 1895, de la première revue internationale consacrée à l'astrophysique. Cet événement apparaît tout d'abord comme le fruit des voyages effectués par Hale en Amérique et en Europe, voyages ayant eu pour but de tisser des liens scientifiques et humains, de propager ses idées sur l'AP et ainsi de persuader un grand nombre de savants de l'utilité d'uniformisation des pratiques, de standardisation du matériel et de coopération internationale. Durant l'été 1891, son premier voyage en Europe lui permet de rencontrer William Huggins, James Dewar, Norman Lockyer et William Crookes en Angleterre, Deslandres en France[653], avant de visiter astronomes et physiciens en Allemagne à Cologne, Berlin, Leipzig, Francfort, et à Milan ou Genève pour l'Italie. Au terme de voyage, Hale « had the endorsement of the leaders in the field, both on the Continent and in England »[654]. De même, durant l'hiver 1893-1894, Hale part étudier en Allemagne. Ce voyage lui permet de suivre les cours de thermodynamique de Max Planck à l'université de Berlin, d'échanger avec Vogel à l'observatoire de Potsdam, ou encore de suivre les recherches de laboratoire de Julius Elster et Hans Friedrich Geitel concernant l'émission de particules électrisées par des métaux exposés à la lumière, ceci sous l'œil bienveillant d'August Kundt et Hermann von Helmholtz[655]. Mais surtout, comme l'ont noté Walter S. Adams en 1938 ou Donald E. Osterbrock en 1995, ce séjour est l'occasion pour Hale de préparer la construction du Yerkes Observatory et de promouvoir son idée d'un nouveau journal consacré exclusivement à l'astrophysique : « He traveled widely and discussed his ideas with many astronomers and spectroscopists in Europe, in person and by correspondence. »[656] L'objectif de ce voyage en Europe est donc avant tout d'imposer sa définition de l'astrophysique, basée sur l'adoption de standards spectroscopiques issus des travaux de Henry Rowland, et de trouver le support d'une personnalité importante dans chacune des grandes nations scientifiques.

La création d'un journal consacré à ce qui est en train de devenir l'astrophysique, est dans l'air du temps : De nombreux journaux scientifiques apparaissent en cette fin de XIX^{ème} siècle, et, dans le domaine astronomique, les grands observatoires publient des Annales qui

---

[653] Selon Helen Wright, Hale avait déjà rencontré Janssen à Meudon lors d'un voyage en Europe avec sa famille en 1886. WRIGHT, Helen, *op.cit.*, p.45.

[654] Hale « avait remporté l'adhésion de la plupart des leaders de la discipline, à la fois sur le Continent et en Angleterre ». WRIGHT, Helen, *op.cit.*, p.84.

[655] Hale voyait dans ses expériences de laboratoire une application possible au domaine de l'astrophysique. Helen Wright rapporte les propos de Hale : « To a student in astrophysics the possibilities of this curious emission seemed numerous, and we attempted to explore the effect in different parts of the spectrum in a laboratory over the great lecture hall. ». WRIGHT, Helen, *op.cit.*, p.107.

[656] « Il voyagea beaucoup et discuta ses idées avec beaucoup d'astronomes et de spectroscopistes en Europe, en personne ou par courrier. » OSTERBROCK, Donald E., «Founded in 1895 by George E. Hale and James E. Keeler : the *Astrophysical Journal* centennial», *The Astrophysical Journal*, vol.438, 1995, p.3.

s'échangent et circulent dans les autres observatoires ou les bibliothèques. Dès 1849, Benjamin Gould crée l'*Astronomical Journal*, mais peu de place y ait faite à l'AP. C'est pourquoi Hale a dès 1891 l'idée d'un journal spécifique à la discipline. Par manque de moyens financiers, il s'associe avec William Payne qui dirige alors le *Sidereal Messenger*, une autre revue astronomique destinée à la fois à des amateurs et des professionnels, et ils transforment ce périodique en *Astronomy and Astro-Physics*, publication constituée d'une partie destinée aux amateurs (astronomie générale), et d'une autre aux professionnels (AP). Mais Hale veut aller plus loin, et désire plus que tout disposer d'une revue entièrement professionnelle : avec l'appui moral et financier de Harper, le président de l'Université de Chicago, Hale réussit à nouveau à transformer *Astronomy and Astro-Physics* et sort le premier numéro de l' *Astrophysical Journal* le 1er janvier 1895. Grâce au prosélytisme réalisé en Europe, Hale assure une dimension internationale à son journal :

> Dans un plan de publication formulé à Berlin, il a été décidé que cinq rédacteurs associés seraient choisis pour représenter l'Allemagne, la Grande Bretagne, la France, l'Italie et la Suède dans l'équipe éditoriale. car nous sentions depuis le début, que l'entreprise ne pourrait réussir sans un caractère international. Le Professeur Vogel consentit promptement à être Rédacteur Associé pour l'Allemagne. Lors de visites ultérieures à Rome, Paris et Londres le projet du journal fut discuté longuement avec le Professeur P. Tacchini, le Professeur M.A. Cornu et le Dr. William Huggins. Partout nous avons reçu les assurances les plus cordiales de support et de coopération, et avant mon retour en Amérique le projet global du journal avait été décidé et les membres européens du Comité de Rédaction choisi comme suit : Professeur M.A. Cornu, Ecole Polytechnique, Paris ; Professeur N.C. Duner, Astronomiska Observatorium, Upsala ; Dr. William Huggins, Tulse Hill Observatory, Londres ; Professeur P. Tacchini, R. Osservatorio del Collgio Romano, Rome : Professeur H.C. Vogel, Astrophysikalisches Observatorium, Potsdam.[657]

Parmi les américains, on compte Keeler et Hale (rédacteurs en chef), Rowland, Young, Pickering, Michelson, Hastings (associate editors), Crew, Ames, Campbell, Frost, Wadsworth (assistant editors). La publication revient à l'Université de Chicago, qui aide aussi financièrement le journal. Dès le début, l'idée de Hale est donc la création d'un journal où les physiciens puissent avoir accès aux problèmes astronomiques qui les concernent, de même pour l'astronome désireux d'accéder à des problèmes de physique touchant à des sujets d'astronomie. Sur ces sujets aux frontières des disciplines (rayonnement des gaz, recherches de laboratoires en spectroscopie, bolométrie, photographie, photométrie…), l'*Astrophysical Journal* est un lieu d'échanges pour faire s'interpénétrer le monde du laboratoire et celui de

---

[657] HALE, G., « The Astrophysical Journal », *The Astrophysical Journal*, vol.1, 1895, p.82.

l'observatoire, encore trop étanches : « The astronomer and physicist should be able to meet on common ground, and this only an astrophysical can supply. »[658] Ainsi, c'est par une forte conscience de l'utilité d'une publication dans la rencontre de lieux de science aux cultures différentes qu'a émergé l'astrophysique.

Enfin, nous ne pouvons que souligner à nouveau l'importance de la standardisation dans la construction de la discipline. En effet, dès le premier numéro de la revue, Rowland publie un article imposant ses standards de longueur d'onde pour les futures recherches spectroscopiques, malgré certaines réticences de Vogel et Cornu. Charlotte Bigg écrit ainsi que « the decision to have Rowland's tables figure in the first volume of the *Astrophysical Journal* gave [Hale and Rowland] the status of a foundational document in the new American-style astrophysique which the two men promoted and symbolised. »[659]

Fig. 3.1.1. : Extrait des tables de longueurs d'onde de Rowland, parues dans le premier numéro de l'*Astrophysical Journal*.
Source : *Astrophysical Journal*, vol.1, 1895, p.131.

3.1.2 Alfred Cornu : l'Astronomie physique française sur la scène internationale

En France, c'est donc Cornu qui incarne, pour les astronomes étrangers, l'AP. Cela fait effectivement plus de vingt ans que celui-ci y applique ses méthodes et oriente la discipline vers la tradition que nous avons déjà écrite. Durant les années 1890, Cornu semble vouloir s'imposer en France comme un acteur important de ce champ scientifique en émergence. Il rédige pour cela un certain nombre d'articles hors des revues académiques, pour, apparemment, diffuser de façon plus large ses idées. Il s'agit pour lui d'introduire le geste métrologique dans la pratique de l'AP, et ceci dans le souci d'une précision accrue. C'est pour cela qu'il rédige en 1891 une notice dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* sur la mesure des vitesses radiales[660]. Comme nous l'avons déjà souligné, Cornu cherche des passerelles entre les disciplines, et non une dispersion du savoir : la mesure des vitesses radiales par la

[658] « L'astronome et le physicien devraient pouvoir se rencontrer sur un sol commun, et ceci seul un journal d'astrophysique peut le faire. » *Ibid.*, p.81.
[659] « la décision de faire figurer les tables de Rowland dans le premier volume de l'*Astrophysical Journal* donnait à [Hale et Rowland] le statut d'un document fondateur pour la nouvelle astrophysique, dans le style américain, que les deux hommes promouvaient et symbolisaient. ». BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.34.
[660] CORNU, Alfred, «Sur la méthode Doppler-Fizeau», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1891, p.D1-D40.

méthode DF doit venir compléter les mesures en astronomie de position, l'une apportant la composante longitudinale du déplacement des étoiles, (méthode DF), l'autre sa composante transversale. Dans cet article, Cornu spécifie le rôle important que Fizeau, son maître, a pu jouer dans cette découverte. Si Doppler, en 1842, propose l'idée que la période d'une onde émise par une source vibrante, est apparemment modifiée lorsqu'elle est perçue par un observateur en mouvement par rapport à cette source, la véritable compréhension du phénomène est due à Fizeau. Celui-ci élucide, en 1848, le phénomène dans le cas de la lumière, ce qui, selon Cornu, posait encore problème à Doppler dans sa tentative d'interpréter la couleur des étoiles par comparaison avec les phénomènes sonores lors d'un mouvement relatif entre l'observateur et la source sonore. Cornu écrit ainsi :

> […] on voit nettement la part qui revient à chacun des deux éminents physiciens. Doppler a montré comment le mouvement d'une source vibratoire modifie la période apparente de cette source ; M. Fizeau, comment on peut constater cette variation de la période, et de plus la mesurer par la variation de réfrangibilité. Ces deux résultats sont inséparables. On ne saurait donc, dans l'histoire de l'application à l'Astronomie du principe de Doppler oublier le nom de M. Fizeau sans commettre tout à la fois une lacune grave et une injustice. Aussi est-il équitable de désigner sous le nom de *méthode Doppler-Fizeau* la méthode optique qui permet de mesurer la vitesse relative d'une source lumineuse par le déplacement des raies spectrales.[661]

Cornu cite ensuite les nécessaires vérifications de cet effet, à commencer par la rotation du Soleil, où Thollon, nous l'avons vu, a joué un rôle non négligeable : Cornu légitime par là les méthodes qu'il a contribué à créer, à savoir les méthodes du balancement ou de l'inclinaison des raies pour la distinction raies solaires / raies telluriques. Puis il envisage des applications importantes pour l'astronomie stellaire : mouvement de translation du système solaire, analyse de systèmes d'étoiles doubles, voire découverte de systèmes planétaires. Cornu ne cache pas son enthousiasme, et le rôle central qu'il compte faire jouer à l'effet DF : « […] née d'hier, à peine entrée dans la pratique des observatoires, elle a déjà attaqué avec succès les grands problèmes de l'Astronomie moderne : le mouvement orbital des étoiles, la translation des systèmes stellaires, celle de notre système solaire, la transformation des nébuleuses : c'est vraisemblablement à elle qu'on en devra la solution. Si elle n'a pas encore acquis la sûreté et la précision des méthodes anciennes, elle a toutefois prouvé qu'elle recèle les éléments d'une puissance extraordinaire. Par la délicatesse des détails qu'elle a déjà révélés, elle promet de nous faire pénétrer dans la structure intime de l'Univers plus

[661] *Ibid.*, p.D16.

profondément encore que ne l'ont fait jusqu'ici les plus puissants télescopes. L'Astronomie stellaire entre dans une ère nouvelle. »[662]

Ce plaidoyer pour la méthode DF, montrant aussi comment elle peut renouveler les problématiques cosmogoniques encore entachées de trop de spéculations et ainsi résoudre de façon solide ces problèmes en les rattachant à des questions d'AP[663], est donc l'occasion de montrer la nécessité de la précision. Ce point transparaît également dans une conférence qu'il donne au CNAM le 17 janvier 1892, suivant de façon étonnante une conférence au titre quasi-similaire donnée par Janssen un mois auparavant, et sur laquelle nous reviendrons plus tard.[664] Il explicite d'ailleurs le contenu de sa conférence : « Sous le titre de *Photographie céleste*, nous comprendrons le concours que la Photographie apporte aux mesures astronomiques de haute précision »[665]. Nous avons déjà vu que Cornu n'adhère pas de façon inconditionnelle à la photographie ; avant d'acquérir un statut scientifique, elle doit donner des épreuves fidèles, détaillées, rapides afin de dépasser les inconvénients qui lui sont inhérents, à savoir l'obtention d'une image immatérielle, constituée de grains plus ou moins grossiers. En dépassant ces inconvénients, l'image photographique peut s'avérer utile, notamment parce qu'elle permet d'obtenir simultanément un grand nombre d'informations sur une même plaque (images ou spectres), et permet d'accéder à des objets invisibles à l'œil nu. A partir de là, Cornu peut promouvoir sa tradition, notamment en plaçant Fizeau comme l'un des artisans majeurs de cette nouvelle technique : « Après Daguerre, c'est à M. Fizeau que l'on doit les plus grands perfectionnements dans les procédés photographiques ; car c'est lui qui a découvert la première substance accélératrice, à savoir la vapeur de brome. »[666] Cornu en profite également pour exposer sa méthode d'achromatisme des objectifs par écartement des verres, qu'il avait mis au point à l'occasion du Passage de Vénus, avec une nuance cependant : « Cette transformation de l'achromatisme des rayons visibles en achromatisme chimique a été employée dans diverses occasions que nous citerons bientôt : elle n'offre que

---

[662] *Ibid.*, p.D40.

[663] Lorsqu'il évoque la possibilité de déterminer les éléments de l'orbite d'une planète que l'on nommerait aujourd'hui extrasolaire, Cornu prend beaucoup de précautions : « Ces calculs un peu aventureux trouvent évidemment leur excuse dans le désir de pousser aussi loin que possible les conséquences des observations spectrales ; ils ont le même bon côté d'ouvrir des perspectives intéressantes en montrant le lien, de plus en plus solide, entre les méthodes de la Mécanique céleste et de l'Optique moderne ; mais il faut nettement séparer les faits bien établis des hypothèses additionnelles, sans quoi on risquerait d'attribuer aux méthodes rigoureuses les erreurs provenant d'appréciations arbitraires». *Ibid.*, p.D36.

[664] CORNU, Alfred, « La Photographie céleste », Conférence du 17 janvier 1892, *Annales du CNAM*, 2ème série, T.4, 1892, p.263-288 ; JANSSEN., J., « La Photographie Astronomique » .Conférence du 20 décembre 1891, *Annales du CNAM*, 2ème série, t.4, 1892, p.249-262.

[665] CORNU, A., *op.cit.*, p.263.

[666] *Ibid.*, p.273.

des avantages au point de vue de la facilité des observations des deux genres ; elle a toutefois un petit inconvénient qui empêche de l'appliquer aussi souvent qu'il serait utile de le faire dans les Observatoires : l'écartement du verre entraîne une diminution notable de la distance focale (environ 7 à 8 pour 100) que la construction antérieure des corps de lunette n'a pas toujours prévu. »[667]

Cornu réitère cette nouvelle adhésion à la photographie en 1899, dans un article paru dans le *Bulletin de la Société Astronomique de France*, alors qu'il est président de la Société Astronomique de France. Cet article, intitulé « La photographie des spectres d'étoiles »[668], porte le sous-titre « Causerie astrophysique » en notes de bas de page, l'utilisation du terme « astrophysique », rarement employé en France encore à cette époque, montrant le début d'évolution que subit l'AP, à savoir le glissement d'une somme de pratiques à une discipline instituée et reconnue. Dans cette « causerie astrophysique », Cornu note tout d'abord, et à nouveau, que l'astronomie moderne est prête, par ses échanges avec d'autres sciences, à donner un caractère solide aux considérations cataloguées jusque là comme mystiques « qui ont longtemps arrêté son essor »[669]. Ensuite, il s'attache à décrire les circonstances épistémologiques qui ont permis le développement de la nouvelle discipline : ce ne sont plus les mathématiques qui ont un rôle de premier ordre, mais plutôt « l'influence réciproque de l'astronomie sur les sciences physiques et les arts mécaniques ».[670] Enfin, il poursuit par un panorama des « principaux problèmes vraiment modernes » pouvant être résolus par l'étude photographique du ciel stellaire, insistant à chaque fois sur la nécessité de la précision lors des mesures : Carte du Ciel, détermination photographique du passage au méridien des étoiles, enregistrement des spectres photographiques. Et Cornu de terminer par l'évocation d'hypothèses cosmogoniques, sujet dont il avait pris la peine de suggérer la fin du caractère mystique au début de son article : « Ces observations permettent de faire quelques hypothèses sur la constitution de la voie lactée. Ainsi, on peut penser que la voie lactée forme la nébuleuse annulaire aplatie, feuilletée, à laquelle notre système planétaire appartient ; le Soleil est une des étoiles de cette nébuleuse, peut-être pas la principale, ni la plus centrale. »[671]

Enfin, l'article le plus intéressant à nos yeux est sans conteste celui que Cornu écrit à l'occasion de la mort de Fizeau pour la Société Astronomique de France, et qu'il intitule aussi

---

[667] *Ibid.*, p.271.
[668] CORNU, Alfred, «La photographie des spectres d'étoiles», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1899, p.377-382.
[669] *Ibid.*, p.377.
[670] *Ibid.*, p.378.
[671] *Ibid.*, p. 382.

de façon pionnière : « L'œuvre astrophysique de Fizeau »[672]. Cornu y mentionne trois axes de recherches sur lesquels Fizeau a profondément laissé sa trace : la photographie et son application en photométrie (Soleil, Lune par exemple)[673], la mesure de la vitesse de la lumière, et enfin le principe appelé depuis Doppler-Fizeau. Mais, étonnamment, Cornu ne cite pas les applications astronomiques de l'interférométrie, que ce soit pour la mesure des diamètres stellaires ou pour la détermination de standards de longueurs d'onde qui occupait au même moment ses élèves, Charles Fabry et Alfred Pérot, et sera au cœur des préoccupations de George Hale au début de l'*Astrophysical Journal*.

Finalement, par ses articles et sa présence internationale, Cornu incarne fortement l'astrophysique française. Il impose sa culture et son histoire à une discipline encore en manque de filiation et de mythes : de Fresnel et Fizeau, Cornu tire le souci de la précision, la nécessité d'une métrologie face à une pratique plus imagée et sensible qu'incarne Janssen. Nous détaillerons plus loin cet héritage métrologique laissé dans les mains de ses élèves à Polytechnique, à savoir Charles Fabry et Alfred Pérot, qui vont faire vivre après la mort de Cornu cette tradition 'fresnelienne' et 'fizaldienne' dans les arcanes de l'astrophysique internationale.

3.1.3 Henri Poincaré : de l'effet Doppler-Fizeau aux hypothèses cosmogoniques, un stimulateur de la discipline

Un autre élève de Cornu, Henri Poincaré nous semble avoir pu influencer l'AP française. Peut-on pour autant soutenir que ce mathématicien, théoricien et non expérimentaliste, ait pu jouer un rôle important pour la discipline ? Nous allons montrer que sur un plan institutionnel autant que scientifique, Poincaré a porté un regard, voire dirigé certains travaux constitutifs de l'AP.

Sur un plan institutionnel tout d'abord, Poincaré a investi le champ astronomique français de façon notable[674]. Membre du Bureau des Longitudes dès 1893, il en devient vice-président en

---

[672] CORNU, Alfred, «L'œuvre astrophysique de Fizeau», *L'Astronomie*, 1897, p.457-461.

[673] Cornu écrit à ce propos : « Arago comprit tout de suite le parti que la science, et l'astronomie surtout, pouvait tirer de la découverte ainsi perfectionnée, et le jeune Fizeau, en collaboration avec Foucault, s'adonna, sous l'inspiration du Maître, aux études astrophysiques ». *Ibid.*, p.458.

[674] Nous ne reviendrons pas sur une biographie détaillée de Poincaré, notre propos étant de pointer les liens et l'implication de Poincaré dans le domaine de l'astronomie, de la physique, et en particulier de l'AP. On pourra consulter pour une biographie générale : BOTTAZZA, Umberto, « Poincaré, philosophe et mathématicien », *Les*

1900 puis président en 1910. Guillaume Bigourdan note à ce sujet que « Son autorité y était prépondérante, et en son absence on ne prenait jamais une décision importante. »[675] En 1896, il succède à Tisserand à la chaire d'astronomie mathématique et de mécanique céleste à la Faculté des Sciences de Paris ; en 1901, il devient membre du Conseil de perfectionnement de l'Ecole Polytechnique et en 1904 y est nommé professeur honoraire d'astronomie générale. En 1899, il est élu vice-président de la Société Astronomique de France, puis président entre 1901 et 1903. En 1907, il sera nommé membre du Conseil de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon, en 1908 vice-président du Conseil de l'OP, puis président du Conseil des observatoires. Il présidera également le Comité de rédaction du *Bulletin Astronomique*. Dans le domaine de la physique, on peut aussi citer le fait qu'il était secrétaire général du Congrès de Physique de 1900, congrès dont Cornu était, pour sa part, président. En terme de représentativité internationale, Poincaré a également été présent aux débuts de l'AP : lors de la première réunion de l'*International Union for Cooperation in Solar Research* organisé par Hale en 1904 à Saint-Louis, Poincaré est nommé vice-président et représente pour la France la SAF et la Société Française de Physique. Il intervient ainsi en marge de l'Exposition Universelle et notamment du Congrès International des Arts et des Sciences où il prononce sa conférence « L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique » », dans laquelle il discute, entre autres, du rôle des théories scientifiques.

Poincaré est donc, comme Cornu, une caution scientifique, une sommité incarnant la science française. Tous deux, sont polytechniciens et partagent un certain nombre d'idées : unité, simplicité et généralisation sont les maîtres mots d'une façon de pratiquer la science. Poincaré exalte ce caractère lorsqu'il cède à l'exercice polytechnicien qui soude l'institution, à savoir la notice biographique du maître : « Aussi, quand [Cornu] aborda l'étude de la diffraction, il eut bientôt fait de remplacer cette multitude rébarbative de formules hérissées d'intégrales par une figure unique et harmonieuse, que l'œil suit avec plaisir et où l'esprit se dirige sans effort. […] M. Cornu débuta dans la science par une théorie de la réflexion cristalline ; il parvint à ramener ces lois si compliquées à des règles géométriques simples et élégantes et à construire

---

Génies de la Science, août-novembre 2000 ; BOUDENOT, Jean-Claude, SAMUELI, Jean-Jacques, *H. Poincaré (1854-1912) physicien*, Ellipses, Paris, 2005 ; GALISON, Peter, *L'Empire du temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Robert Laffont, Paris, 2005 ; « Jules Henri Poincaré », *MNRAS*, vol.73, 1913, p.223-228 ; LEBON, E., « Henri Poincaré », *Astronomische Nachriten*, 192, 1912, p.335-340 ; LIPPMANN, G., « Discours prononcé aux funérailles de M. Poincaré », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.29, 1912, p.355-356 ; BIGOURDAN, G., « Discours prononcé aux funérailles de M. Poincaré », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.29, 1912, p.362-364.

[675] BIGOURDAN, G., *op.cit.*, p.362.

géométriquement le plan de polarisation du rayon réfléchi à la surface du cristal. »[676] Nous avons également déjà vu la réticence de Cornu à spécialiser le savoir ; ce trait est aussi noté chez Poincaré par ses biographes : « Certain que le progrès de la Science ne peut se faire que « par des rapprochements inattendus entre ses diverses parties », *Henri Poincaré* ne se spécialisa point ; son perpétuel souci fut de rechercher si les choses « différentes par la matière » n'étaient pas « semblables par la forme » et ne pouvaient se couler dans un même moule. »[677]

Poincaré apparaît ainsi comme un homme affectionnant l'échange et les transferts de savoirs : lui-même a pu, par son autorité scientifique, susciter et orienter des travaux. Lippmann écrit par exemple qu' « Il a su donner à Becquerel de fructueuses suggestions, dont Becquerel lui resta toujours profondément reconnaissant »[678]. Nous avions également noté que Deslandres[679], en 1894 et 1895 effectue des recherches spectrales sur la rotation des planètes Jupiter et Saturne, « sur le conseil de M. Poincaré »[680], ce dernier étant spécialement intéressé par l'application du principe de DF dans le cas d'un déplacement double comme celui de la lumière solaire réfléchie par une planète avant d'être observée sur Terre. Ainsi, le travail expérimental de Deslandres apporte des éléments importants pour les sujets qui intéressent Poincaré. D'un côté, ses mesures stimulent la réflexion sur « la grande question de l'influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes lumineux », question bien sûr d'importance à une époque de remise en question de l'existence de l'éther et du principe de relativité galiléen. De plus, les mesures de rotation des différentes parties de l'anneau de Saturne viennent compléter les travaux théoriques de Poincaré sur la stabilité de l'anneau de Saturne, cas particulier de problèmes de dynamique céleste, comme la stabilité du système Terre-Lune ou celle du système solaire[681]. Jean Bosler, dans son cours d'astrophysique publié en 1928, relate l'imbrication des mesures de Deslandres et des calculs de Poincaré : l'application du déplacement double des raies spectrales dû à la rotation des planètes au cas de l'anneau de Saturne donne accès aux différentes vitesses radiales de l'anneau. Si l'anneau est solide et tourne d'un bloc, les différentes parties de l'anneau ont même vitesse de rotation ; sinon

---

[676] POINCARE, H., «Alfred Cornu. Notice par M. Poincaré», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu.
[677] LEBON, E., « Henri Poincaré », *Astronomische Nachriten*, 192, 1912, p.339.
[678] LIPPMANN, G., « Discours prononcé aux funérailles de M. Poincaré », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.29, 1912, p.355.
[679] Deslandres et H. Becquerel, tous deux polytechniciens, sont de la promotion 1872. Poincaré est quant à lui de la promotion 1873.
[680] DESLANDRES, Henri, «Recherches spectrales sur la rotation et les mouvements des planètes», *CRAS*, t.120, 1895, p.417.
[681] Voir sur ce sujet : BOTTAZZA, Umberto, « Poincaré, philosophe et mathématicien », *Les Génies de la Science*, août-novembre 2000, p.64-70.

l'anneau est constitué de particules indépendantes. Les mesures de Keeler aux USA puis de Deslandres à Paris viennent corroborer la deuxième hypothèse, et Bosler de suggérer l'importance de la différence de vitesse de rotation du bord intérieur de l'anneau et de la planète elle-même: « La portée cosmogonique de cette singulière anomalie est évidente ».[682]

Il y a donc collaboration entre Deslandres et Poincaré sur un sujet que celui-ci affectionne particulièrement : « L'étude de l'équilibre des masses fluides en rotation a des conséquences cosmogoniques évidentes, que Poincaré aborde avec grande prudence, qu'il s'agisse de la plausibilité de l'hypothèse de Kant-Laplace sur l'origine de l'Univers ou de la stabilité des anneaux de Saturne »[683]. Poincaré applique à nouveau ce problème de l'équilibre d'une masse fluide en rotation au cas de l'origine des étoiles doubles. Bosler indique dans son cours d'astrophysique l'existence de trois hypothèses expliquant l'origine des étoiles doubles : division d'une étoile unique, agglomération autour de deux centres de noyaux indépendants, capture réciproque et définitive de deux étoiles. Il note au sujet de l'hypothèse de la division qu' « elle repose sur les beaux travaux mathématiques de Poincaré et de Sir G.H. Darwin. »[684], notamment sur l'évolution de la figure d'une masse fluide homogène en rotation autour d'un axe, passant d'un sphéroïde aplati (ellipsoïde de révolution de Mac Laurin) à un ellipsoïde à trois axes inégaux dit de Jacobi sous l'effet de la gravitation, puis, la rotation s'accélérant, l' ellipsoïde prend une forme ovoïde appelée figure piriforme de Poincaré. Ce dernier note alors dans ses *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques* que : « Il est impossible de voir là une origine, même approchée, des planètes : car les planètes n'ont qu'une masse insignifiante relativement à celle du Soleil ». Il n'exclut pourtant pas que l' « On pourrait concevoir de la même façon la formation de certaines étoiles doubles, dont les composantes ont des masses du même ordre de grandeur. »

Ces idées sur les figures prises par une masse fluide en rotation ont été également étudiées par George Darwin, avec qui Poincaré a entretenu une correspondance suivie sur le sujet[685]. Hormis George Darwin, Poincaré a échangé avec de nombreux physiciens ou astronomes français ou étrangers comme Svante Arrhenius, Henri Becquerel, Kristian Birkeland, Octave Callandreau, Henri Pellat, Alfred Pérot ou K. Schwarzchild. Ce qui invite Scott Walter à réfléchir sur l'implication de Poincaré dans les milieux de la physique expérimentale, mais aussi, nous le pensons, de l'AP : « L'inventaire de la correspondance de Poincaré montrant

---

[682] BOSLER, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.395.
[683] BOTTAZZA, Umberto, « Poincaré, philosophe et mathématicien », *Les Génies de la Science*, août-novembre 2000, p.67.
[684] BOSLER, Jean, *op.cit.*, p.580.
[685] La correspondance de Poincaré est disponible sur le site : http//www.univ-nancy2.fr/poincaré.

qu'il entretenait un réseau français de physiciens expérimentateurs, nous devons amender la description d'Emile Boutroux et considérer certains résultats de Poincaré en physique comme le fruit d'une collaboration. Mais il s'agit d'une hypothèse que seule pourra vérifier l'analyse détaillée du contenu scientifique des échanges. »[686] Qui plus est, la correspondance de Poincaré n'indique aucun échange avec Deslandres, alors que nous avons mis en évidence un lien scientifique entre ces deux savants : l'hypothèse de Scott Walter devra se compléter d'un autre travail, par exemple dans les *CRAS*. En ce qui concerne un engagement de Poincaré dans l'AP, il est important également de souligner les contributions de Poincaré à des problèmes de physique ayant stimulé ou pénétré la discipline : rayons cathodiques (influence sur les travaux de Birkeland notamment), électromagnétisme, tourbillons, … Umberto Bottazza note d'ailleurs qu' « Il n'est aucun domaine de la physique mathématique moderne que Poincaré n'ait traité dans ses cours à la Sorbonne. »[687] Enfin, l'analyse des références à Poincaré dans l'ouvrage pionnier de Bosler en 1928 montre que celui-ci puise principalement dans le dernier ouvrage de Poincaré, ses *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*[688]. C'est donc via des problèmes cosmogoniques que Poincaré a porté un regard et exercé une influence en AP : ceci justifiera de regarder de quelle façon le regain d'intérêt pour les hypothèses cosmogoniques à la fin du XIX^{ème} siècle a pu influer sur le développement de l'AP.

3.1.4 Janssen : fin de règne, début du mythe

En ces années 1890, Jules Janssen est un savant reconnu, à la fois en France et à l'étranger : d'un point de vue scientifique il fait office de précurseur dans les domaines de la spectroscopie et de la photographie, tandis que sur le plan institutionnel il est le fondateur du premier et unique observatoire consacré uniquement à l'AP. Pourtant, nous avons déjà vu qu'il existe d'autres pratiques de la discipline en France, et que l'observatoire de Meudon est, vers 1895, un établissement où peu de scientifiques travaillent, créant l'indignation d'une certaine presse. Janssen n'enseigne nul part, et ne forme donc pas d'élèves, connaît des difficultés avec Trouvelot, son adjoint, et voit la discipline, qu'il a participé à construire, investie par des savants reconnus et issus d'écoles prestigieuses. Dans ce climat, nous allons

---

[686]WALTER, Scott, « Poincaré et les physiciens », http://www.univ-nancy2.fr/DeptPhilo/walter/papers/hpphyssh.html

[687] BOTTAZZA, Umberto, « Poincaré, philosophe et mathématicien », *Les Génies de la Science*, août-novembre 2000, p.70.

[688] Dans l'ouvrage de Pecker et Schatzman de 1959, plus aucune référence n'est faite à Henri Poincaré. PECKER, J.C., SCHATZMAN, Evry, *Astrophysique Générale*, Masson et Cie, Paris, 1959.

montrer comment Janssen continue à se vouloir le « parrain » de l'AP, mais comment également cette dernière décennie du XIX^{ème} siècle représente une transition qui voit la montée en puissance d'une nouvelle génération d'astronomes physiciens prête à récupérer l'héritage de Janssen, jugé alors par eux comme un frein au développement de la discipline.

Toutefois, Janssen se montre encore, durant ces années, un bâtisseur. Trois événements nous ont semblé d'importance pour évoquer ce caractère permanent chez ce savant de soixante-dix ans : la construction à Meudon de la Grande Lunette et du Grand Télescope, l'érection de l'observatoire du Mont Blanc, et la publication des *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon*.

La construction de grands instruments est un fait majeur de la nouvelle astronomie. En 1886 et 1887 sont inaugurées les lunettes de 76 cm des observatoires de Poulkovo en Russie et de Nice. En 1888, l'observatoire Lick en Californie offre aux astronomes l'utilisation d'une lunette de 91 cm tandis qu'à Chicago l'observatoire Yerkes recevra en 1897 une lunette de 102 cm. Pour les télescopes ou réflecteurs, nous avons déjà signalé le télescope (peu utilisable) de 1,20 m de l'OP, auquel il faut rajouter en 1879 le télescope de 91 cm du Mont Hamilton, en 1887 le télescope de 83 cm de l'observatoire de Toulouse. Le développement de l'AP est devenu une course au gigantisme, course à laquelle Janssen compte participer. Audoin Dollfus note ainsi que « dès la fondation de l'Observatoire de Meudon, en 1875, son créateur Jules Janssen décida de doter la nouvelle institution d'une lunette d'exception. Sa réalisation, très audacieuse, fit appel aux ressources remarquables alors disponibles en France, dans les arts de la verrerie et de la grande optique, dans les techniques du fer et de la mécanique, dans les applications de l'électricité. […] Ainsi, lorsque, en 1896, notre grande lunette de Meudon entra en action, l'instrument était par sa taille le deuxième dans le monde, le plus grand d'Europe, et il le demeure encore de nos jours »[689]. Il s'agit en fait d'une lunette double, constitué d'un objectif pour l'observation visuelle (83 cm de diamètre et 16,2 m de distance focale), et d'un objectif pour la photographie (62 cm de diamètre et 15,9 m de distance focale). Audoin Dollfus, dans son récent ouvrage, décrit avec précision les utilisations de la lunette, qui ont pu aller de l'observation visuelle des planètes à la photographie des surfaces planétaires, des amas stellaires, des spectres (novae, planètes entre autres). Dans une autre publication, Dollfus retrace également l'histoire du grand télescope de

[689] DOLLFUS, Audoin, *La grande lunette de Meudon. Les yeux de la découverte*, CNRS Editions, Paris, 2006, p.17-18. Nous renvoyons à cet ouvrage pour les détails importants qu'il comporte concernant la construction et l'utilisation de la grande lunette, depuis sa création jusqu'à aujourd'hui.

1 m et 3 m de distance focale, imaginé par Janssen dans le sillon du télescope de 40 cm et 1,60 m de distance focale (des télescopes très ouverts et donc très lumineux) : prévu dès le début de l'observatoire de Meudon, le projet est approuvé par le Conseil de l'observatoire en 1885 et le télescope réellement mis en service en 1897, lors de son utilisation par Louis Rabourdin avec pour objectif la photographie des nébuleuses et des amas[690]. Il est à noter que ces deux appareils ont nécessité la construction de coupoles de grandes tailles : 7,50 m de diamètre pour le télescope, et plus de 18 m pour la lunette, cette dernière étant mue par une dynamo à courant continu.

Fig. 3.1.2. : La Grande Lunette de l'observatoire de Meudon.
Source : TISSANDIER, Gaston, « La Grande Lunette de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon », *La Nature*, 1896, 24e année, 2eme semestre, p.361.

Si, à notre connaissance, Janssen n'a pas écrit d'article dans des revues professionnelles ou de vulgarisation concernant le télescope de 1 m, il promeut par contre la lunette de façon importante, par le relais de revues comme *La Nature*. Dès 1896, Gaston Tissandier reproduit la communication de Janssen à l'Académie des Sciences, permettant à ce dernier d'expliquer le retard intervenu dans la construction de la grande lunette, à la fois au monde scientifique et au grand public. Il se défend donc en écrivant que l' » on peut dire que si cette création a été aussi retardée, c'est qu'elle s'est déroulée à travers deux périodes financières bien différentes : une première, encore favorable, où les crédits de création ont été votés ; une seconde où les difficultés financières s'accusaient de plus en plus et dans laquelle non seulement les ressources nécessaires pour l'achèvement n'ont pu être accordés, mais où l'on a dû subir de cruelles réductions du budget ordinaire lui-même, réductions qui, ne pouvant porter sur le personnel, mirent en souffrance les publications et les travaux. Les crédits accordés par les Pouvoirs publics à l'Administration des Bâtiments civils pour la restauration de l'édifice, son appropriation et l'édification de la grande coupole, ayant été insuffisants et des crédits supplémentaires n'ayant pu être accordés, il fallut prendre sur les crédits pour les instruments et les publications, le prix de la grande coupole et de celles qui abritent le télescope de 1 mètre et la lunette photographique »[691]. Dans cet article, Janssen se dédouane

[690] Janssen utilisera l'appareil dès 1891, probablement, selon Dollfus, pour de simples essais. DOLLFUS, Audoin, «Le Grand Télescope de Janssen de l'Observatoire de Meudon», *L'Astronomie*, 114, juillet-août 2000, octobre 2000.
[691] TISSANDIER, Gaston, « La Grande Lunette de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon », *La Nature*, 1896, 24e année, 2eme semestre, p.360.

donc, auprès du grand public, des accusations exprimées après la mort de Trouvelot, et apportant également une réponse à l'absence de publications de l'observatoire. Il décrit l'appareil avec beaucoup de précision, fait insérer une image impressionnante de l'appareil, et en profite pour donner un bilan des travaux réalisés à Meudon, en se donnant la paternité de la quasi-totalité des études photographiques en France : « Je viens de parler de la photographie solaire créée à Meudon et qui, certainement, a été le point de départ de la photographie stellaire, si brillamment reprise par MM. Henry frères et dont le centre est à l'Observatoire de Paris. Mais à Meudon, nous avons encore inauguré la photographie des comètes, la photométrie photographique »[692].

Dans cet article, nous avons vu comment Janssen explique le retard à la publication des travaux de l'observatoire. : en effet, ce n'est qu'en 1896 que les *Annales* paraissent, alors que ceci était envisagé dès les débuts de l'observatoire. Il est utile ici de revenir sur certains événements datant des années 1880, de façon à comprendre le contexte dans lequel vont paraître ces *Annales*.

En effet, Emile Durand-Gréville écrit dans *La Nouvelle Revue*[693] en 1880, alors que l'observatoire se structurait : « Le programme des travaux de l'Observatoire, tracé pour l'avenir, peut se résumer ainsi : Photographies journalières du Soleil (de 10 à 70 centimètres de diamètre ; Observations spectroscopiques ; Observations magnétiques ; Compte rendu et interprétation des faits dans une publication périodique qui s'appellera sans doute : *Journal* ou *Annales de l'Observatoire de Meudon*. »[694] Durand-Gréville, « mû par le désir de nous mettre au courant des derniers résultats d'une science nouvelle », visite Meudon où Janssen, « avec cette bienveillance que connaissent ceux qui l'approchent », lui apporte sa vision des faits et sa conception de l'AP et de son histoire. Durand-Gréville explique ainsi que cette nouvelle science débute vraiment à l'époque de Galilée avec l'invention des lunettes, puis connaît un virage décisif avec les travaux d'Arago sur la polarisation de la lumière : « Le célèbre astronome savait que les plus puissants instruments d'optique ne donnaient aucune réponse à cette question indiscrète [la surface du soleil est-elle solide, liquide ou gazeuse ?]. Mais il

---

[692] *Ibid.*, p.362.

[693] *La Nouvelle Revue* fut fondée en 1879 par Juliette Adam. Se revendiquant de la gauche républicaine, Juliette Adam, connue pour son salon, voulait, par sa revue, rivaliser avec *La Revue des Deux Mondes* de l'orléaniste Charles Buloz. Voir MARTIN-FUGIER, Anne, *Les Salons de la III^e^République, Art, Littérature, Politique*, Perrin, Paris, 2003, p.63.

[694] DURAND-GREVILLE, « L'astronomie physique et l'observatoire de Meudon», *La Nouvelle Revue*, 1880, A2 T5, p.804.

espérait la résoudre au moyen de ses propres découvertes sur la lumière polarisée. »[695] Puis, face à l'impuissance du polariscope vis à vis de problèmes comme par exemple la nature de la couronne solaire, Durand-Gréville décrit comment « une nouvelle méthode d'investigation, plus merveilleuse encore que les précédentes, fit son entrée dans la science »[696] : il s'agit de l'analyse spectrale. Enfin, télescope, polariscope et spectroscope ont été transformés par la photographie, qui permet de fixer l'image et de l'étudier à loisir : « Les choses se passent comme si l'image entrevue se gravait d'une manière indélébile sur la rétine de l'observateur. »[697] Cet article, où bien évidemment Janssen parle derrière la plume de Durand-Gréville, est l'occasion de mettre en relief la détermination de Janssen, et la difficulté de son combat, seul face à l'institution, décidé à conserver à la France son éminence scientifique. Certaines remarques telles « Faute d'un observatoire physique, la science française laissa aux autres nations, -*sic vos non vobis*,- le plaisir de ces découvertes »[698], « les observatoires physiques de tous les grands pays, sauf la France, entrèrent dans [la voie de la photographie céleste] »[699], exaltent le génie de Janssen : « Quand on a apporté en naissant les qualités de l'observateur, on les applique en toute circonstance »[700], « Mais grâce aux études nouvelles [photographiques] de M. Janssen, le problème [solaire] est définitivement résolu.»[701]

Deux ans plus tard, le 24 août 1882, Janssen donne une conférence pour l'AFAS dont il préside le Congrès annuel, et où il reprend les mêmes idées que celles développées dans l'article de Durand-Gréville. Il distingue à nouveau trois époques dans le développement de l'AP, correspondant au perfectionnement des lunettes, puis de l'analyse spectrale, enfin de la photographie. La première époque est marquée par les travaux de Galilée et de Herschel (correspondant aux découvertes faites à l'aide des lunettes astronomiques), Janssen évoquant le devenir positif et scientifique des problèmes cosmogoniques quand ils seront transformés par les méthodes de l'AP. Quand il retrace les débuts de la spectroscopie, Janssen commence par Newton, puis cite les travaux de Wollaston, Fraunhofer, etc. pour ne citer qu'un seul français, Foucault, laissant de côté Fizeau. Il ne cite alors, pour la France, que ses travaux, décrivant ses observations d'éclipse de 1868 et 1871. Enfin, lorsqu'il évoque la photographie, il débute par la première photographie du Soleil de Fizeau et Foucault, insistant sur le fait que

---

[695] *Ibid.*, p.786.
[696] *Ibid.*, p.789.
[697] *Ibid.*, p.802.
[698] *Ibid.*, p.795.
[699] *Ibid.*, p.802.
[700] *Ibid.*, p.798.
[701] *Ibid.*, p.803.

la photographie est réellement un « moyen de découvertes en astronomie »[702], tout en rappelant ses avantages sur la simple observation : accumulation de l'action lumineuse sur la plaque sensible, conservation des images, etc. Cette façon de concevoir la discipline n'est pas partagée par tous les savants à cette époque. Six mois plus tard, Charles Wolf, dont nous avons vu qu'il professe un cours de physique céleste à la Sorbonne et représente (de façon insignifiante) l'AP à l'OP, donne une conférence à l'Association scientifique de France le 10 février 1883, portant le même titre que la conférence de Janssen à l'AFAS. Son discours y est beaucoup plus nuancé et ambigu que celui de Janssen. A propos des lunettes, il écrit par exemple que « L'Astronomie physique, réduite à l'investigation à l'aide de la lunette, reste donc impuissante dans bien des cas.[…] Réduite à ce procédé de recherches, l'Astronomie physique n'existe pas encore. Bessel a eu raison de le dire. Il lui faut d'autres méthodes. »[703] De même à propos de la photographie, il souligne le caractère parfois dangereux en termes d'interprétation d'une photographie, en affirmant plus loin qu'elle peut s'avérer vraiment utile dans deux cas, le Soleil et les spectres, la photographie nous donnant la possibilité d'obtenir des images spectrales dans des régions non visibles du spectre[704] : « La plaque sensible superpose forcément toutes les images successives, bonnes ou mauvaises, et donne donc en définitive une image confuse, si le temps de pose a été appréciable »[705]. Enfin, il se distingue de Janssen en assurant une place à la polarimétrie et à la photométrie et en minimisant l'observation d'altitude : « Si l'on se transporte sur de hautes montagnes, la transparence de l'air devient plus considérable, c'est vrai, mais les ondulations atmosphériques des images ne sont pas diminuées. Même alors les trop grandes lunettes n'ont qu'une utilité restreinte. »[706]

Si, dès 1882, Janssen tentait, comme on vient de le constater, d'imposer des idées que l'on voit discutées, il reprend, de façon étonnante, presque mot pour mot son discours vieux de quatorze ans pour introduire la parution des *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis Parc de Meudon* en 1896. Il ne s'agit pourtant plus de laisser à une revue de vulgarisation le soin de définir et de revendiquer la discipline, mais bien de montrer la

---

[702] JANSSEN, Jules, « Les méthodes en astronomie physique », *Comptes rendus de l'AFAS*, 1882, p.19.
[703] WOLF, Charles, «Les Méthodes en Astronomie physique», *Ciel et Terre*, vol.4, 1884, p.86-87.
[704] En 1886, Wolf écrit dans les *CRAS* un article où il fait un plaidoyer pour l'observation visuelle contre la photographie dont les procédés seront amenés à varier dans le temps, empêchant une réelle comparaison des clichés. Flammarion lui répondra aussitôt par une adhésion sans concession à l'enregistrement photographique qui est « par son impersonnalité même, d'une incomparable supériorité de précision ». Voir WOLF, Charles, « Sur la comparaison des résultats de l'observation astronomique directe avec ceux de l'inscription photographique », *CRAS*, t.102, 1886, p.476-477 ; FLAMMARION, Camille, « Sur la comparaison des résultats de l'observation astronomique directe avec ceux de la photographie », *CRAS*, t.102, 1886, p.911-914.
[705]WOLF, Charles, «Les Méthodes en Astronomie physique», *Ciel et Terre*, vol.4, 1884, p.83.
[706] *Ibid.*, p.81.

productivité de l'observatoire de Meudon. Janssen écrit par exemple à sa femme le 24 mai 1896 : « […]A quelle occasion et sous quelle forme M. Olivier veut-il publier ce discours qui formera l'introduction au 1er volume des Annales et qui se trouve imprimé dans le casier des Pendules. Ne pourrait-il pas attendre mon retour pour s'entendre avec moi- Dans tous les cas il faudrait l'intituler : Discours sur les méthodes de l'astronomie physique (introduction d'un ouvrage sur l'astronomie physique qui va paraître par J. Janssen) »[707].

Finalement, quelles différences existe-t-il entre le texte de 1882 et celui constituant l'introduction des *Annales* de 1896 ? Il laisse inchangées les deux premières parties sur les lunettes et l'analyse spectrale, ce qui peut nous inviter à nous questionner sur la modernité de ses idées concernant les progrès réalisés dans le domaine de la spectroscopie astronomique. Par contre, il renouvelle plus la partie sur la photographie, ajoutant à son texte de 1882 un assez long historique où il accentue fortement la lutte qu'il a dû mener contre les préjugés pour faire accepter l'idée que la photographie est une maintenant une « branche de l'Astronomie physique »[708], tout en soulignant qu' » Aujourd'hui encore, nous ne sommes pas entièrement affranchis de ces sentiments »[709]. Il suit à nouveau le leitmotiv d'une technique et d'une science peu cultivées en France, les Etats-Unis et la Grande Bretagne ayant su faire vivre l'héritage d'Arago, grâce à des Draper, Rutherfurd, Bond ou encore Warren de la Rue. Il mentionne, contrairement à l'analyse spectrale, les derniers travaux photographiques d'importance, à savoir la Carte du Ciel, la recherche de petites planètes, le spectrohéliographe de Hale et Deslandres et la photographie spectrale (travaux de Pickering, Huggins, Cornu, Deslandres, …). Enfin, il rajoute en conclusion le but ultime qu'il donne à la discipline : « faire un pas nouveau et décisif dans la question de l'habitabilité des mondes et de la vie extra-terrestre »[710]. Après cette introduction, les *Annales* se poursuivent avec des précisions sur la création de l'observatoire, une description des installations et du matériel, un mémoire sur la photographie solaire, et des articles concernant l'étude de la surface solaire par la photographie. Pour lui, l'objet d'études de l'AP est très clair : « L'étude du Soleil est la plus

---

[707] *Lettre de Janssen à sa femme*, Lille 24 mai 1896 , Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°345.

[708] JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, Gauthier-Villars, Paris, 1896, p.21.

[709] *Ibid.*

[710] *Ibid.*, p.46. Cette question semble réellement lui importer, comme le montre cette lettre à sa femme envoyée pendant un Congrès (de la BAAS ?) à Londres en 1895 : « […]Nous sommes rentrés à l'hôtel Marey et moi et dans la chambre nous avons repris une conversation sur les théories scientifiques de l'époque, l'évolutionnisme, l'apparition de la vie à la surface de la Terre, etc. […] ». *Lettre de Janssen à sa femme*, 1895, Bibliothèque de l'Institut, Ms 4133, n°343 bis.

féconde que l'Astronomie physique puisse se proposer. »[711] Et il finit par la publication de quelques photographiques solaires, faible échantillon des milliers d'images déjà conservées. Ce premier tome sera suivi tout d'abord par *l'Atlas de photographies solaires* en 1903, par le tome 2 des *Annales* en 1906 (où figurent de nombreux articles des savants ayant travaillé à Meudon comme Deslandres, Hansky, Rabourdin, Baume-Pluvinel, Nordmann, Millochau, mais aussi Hale dont la communication rend à Janssen la paternité du spectrohéliographe), puis d'un troisième tome en 1906 et 1907, constitué de deux fascicules largement consacrés à l'éclipse de Soleil de 1905 en Espagne.

Le dernier aspect de l'action de Janssen durant les années 1890 est son désir de promotion d'une AP d'altitude. Cette volonté va s'incarner dans le projet ambitieux de construction d'un observatoire au sommet du Mont Blanc, soit à plus de 4 800 m, dans des conditions météorologiques extrêmes. Janssen envisage les recherches de montagne comme un complément des observations faites à Meudon, à l'observatoire ou au laboratoire, ainsi que le souligne Radau en 1900 : « Depuis 1891, l'observatoire de Meudon a une succursale au-dessus des nuages: c'est la station que M. Janssen est parvenu à établir au sommet du Mont Blanc, à 4 800 mètres d'altitude »[712]. L'histoire de cet observatoire a été souvent décrite, notamment par le caractère spectaculaire et osé de l'entreprise, mais aussi pour son côté éphémère, l'observatoire ayant été inauguré en 1893 pour disparaître en 1909 dans le glacier[713]. Si l'on en croit Emmanuel Davoust, l'implication de Janssen pour les observatoires de montagne est précoce : en 1876, après la mort de Charles Sainte-Claire Deville, Janssen devient président honoraire de la commission chargée d'établir et de diriger l'observatoire du Pic du Midi[714]. Dans le sillage de la reprise de ses études spectroscopiques sur l'oxygène, Janssen monte d'ailleurs au Pic du Midi à l'automne 1887 : la haute station de l'observatoire lui permet d'observer dans le spectre solaire les bandes qu'il a isolées au laboratoire, mais qui

---

[711] JANSSEN, J., Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon, Gauthier-Villars, Paris, 1896, p.33.
[712] RADAU R., « L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon », *Revue des deux- mondes*, 15 octobre 1900, p.824.
[713] TISSANDIER, Gaston, «L'Observatoire du Mont Blanc», *La Nature*, 1893, 21e année, 2ème semestre, p.289-290 ; SCHRADER, F., « Au Mont Blanc », *Nouvelles géographiques*, n°5, 5 mai 1894, p.65-68 ; RADAU R., *op.cit.* ; VIVIAN, Robert, *L'épopée Vallot au Mont Blanc*, Denoël, Paris, 1986 ; MALHERBE, Jean-Marie, « Janssen et l'Observatoire Astronomique du Mont-Blanc », in *Un siècle d'astronomie dans la revue* L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), , Paris, Vuibert, mai 2003, p.440-443 ; MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.138-145.
[714] DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, CNRS Editions, Paris, 2000, p.20.

sont inobservables à basse altitude. Il s'aide également de la photographie pour mesurer l'intensité de ces bandes, puis les comparer à celles obtenues à Meudon: il vérifie à nouveau sa loi du carré de la densité. En 1888, Janssen, malgré son handicap, atteint grâce à une chaise à porteurs le refuge des Grands Mulets situé à 3000 m d'altitude. Une fois arrivé (après une ascension de treize heures au lieu de quatre ou cinq dans des conditions normales), Janssen utilisant un spectroscope à deux prismes dont il se sert habituellement (construit par l'opticien Duboscq) et constate la décroissance d'intensité des bandes de l'oxygène et des groupes de raies produites dans le spectre solaire. Il en conclut donc que les bandes et raies qu'il a repérées ont une origine tellurique, mais n'en conclut pas pour autant l'absence d'oxygène dans l'atmosphère solaire : il ne peut que constater l'absence d'oxygène dans l'atmosphère solaire, mais n'exclut pas que ce gaz puisse être présent dans un état que les techniques du moment ne peuvent déceler. Mais en 1890, il désire grimper encore plus haut pour compléter ses études. Après avoir réussi à convaincre vingt-deux guides ou porteurs, Janssen atteint d'abord la station des Grands Mulets, où il compte déjà bâtir un lieu d'observation: « La Station des Grands Mulets aura bientôt un chalet observatoire, élevé à ma demande par le Club-Alpin français[715] »[716]. Puis, à l'aide d'un traîneau cette fois (« Je suis le premier, je crois, qui soit parvenu au sommet du Mont Blanc sans avoir eu à faire aucun effort corporel »[717]), il atteint le sommet même du Mont Blanc. A l'aide du même spectroscope à prismes qu'en 1888 et d'un spectroscope à réseau de Rowland, (le spectroscope à prismes permettant de juger le phénomène dans son ensemble, tandis que le spectroscope à réseau favorise une étude plus fine), montés sur une lunette de 0,75 m de foyer, il réalise alors des observations précises, complétant ses expériences dans le laboratoire de Meudon, faites à l'aide de la lumière de la Tour Eiffel ou aux Grands Mulets. Il en déduit définitivement que l'oxygène est absent des enveloppes gazeuses qui surmontent la photosphère, « tout au moins de l'oxygène avec la constitution qui lui permet d'exercer sur la lumière les phénomènes d'absorption qu'il produit dans notre atmosphère et qui se traduisent dans le spectre solaire par les systèmes de raies et de bandes que nous connaissons. Je considère que c'est là une vérité qui est définitivement acquise ». [718] Ce constat est pour Janssen primordial : si l'oxygène est absent, il ne peut former de l'eau avec l'hydrogène, ce qui donnerait une indication de l'état d'évolution de notre astre du jour: « N'y a t il pas là encore une harmonie nouvelle reconnue dans cet ensemble

---

[715] C'est en 1874 que naît le Club Alpin, avec entre autres membres Louis Cézanne, ce député que nous avons évoqué lors de la naissance de l'observatoire de Meudon en 1874 également.
[716] JANSSEN, J., « Compte rendu d'une ascension scientifique au mont Blanc », *CRAS*, 1890, t.111, p.432.
[717] *Ibid*. p.445.
[718] *Ibid*. p.444.

déjà si admirable de dispositions, qui tendent à assurer à notre grand foyer central la plus longue durée possible à des fonctions d'où dépend la vie du système planétaire entier ? »[719] La ligne de mire est ici cosmogonique, et vise également la présence de la vie dans le cosmos.

Finalement, après ses deux succès, Janssen va chercher à tout mettre en œuvre pour construire, au sommet du Mont Blanc, à plus de 4800 m d'altitude, un observatoire qui serait ouvert à un grand nombre de scientifiques: astronomes, biologistes, physiciens, géologues, etc.[720] Pour cela, il lui faut rassembler, ce qu'il fera grâce à la création d'une Société comprenant Léon Say (président d'honneur), Bischoffsheim (secrétaire, et également fondateur de l'observatoire de Nice), Edouard Delessert (trésorier), le Prince Roland Bonaparte, le Baron de Rothschild, le Comte de Greffulhe, et également Gustave Eiffel, qui sera chargé, tout du moins au début, de la construction de l'édifice. Après des sondages réalisés en août 1891 pour se rendre compte de l'épaisseur de la croûte de neige, puis le creusement de galeries pour protéger les travailleurs, Janssen peut commencer la construction. Mais auparavant, il a réalisé des expériences à Meudon pour tester la stabilité de la couche neigeuse: il recrée dans une cour de l'observatoire un monticule neigeux de la hauteur d'un étage, et à l'aide de disques de plomb de 35 cm de diamètre pesant chacun 30 kg, teste la pression que peut supporter cette neige tassée en évaluant l'empreinte de la colonne constituée au total de douze disques. A l'aide de ces tests, Janssen calcule que la résistance de la neige durcie au sommet pourra supporter une construction de 10m sur 5m pesant 187 tonnes. De façon à s'assurer de la solidité de son raisonnement, il a également fait placer un édicule plus petit, qui après quinze mois ne montra aucune trace de mobilité. Finalement, en 1892 commence la construction d'un édifice à deux étages, avec terrasse et balcon, de forme pyramidale et enfoui dans la neige durcie, situé à 300m du sommet.[721]

Fig. 3.1.3. : La charpente de l'observatoire du mont Blanc

Source : TISSANDIER, Gaston, «L'Observatoire du Mont-Blanc», *La Nature*, 1893, 21e année, 2ème semestre, p.289.

---

[719] *Ibid*. p.445.

[720] Du fait de son expérience de la montagne, Janssen préférait, pour des raisons observationnelles, les cimes au flanc des montagnes, choix opéré pour la construction en 1890 l'observatoire Vallot quelque 500 m plus bas, à 4360 m d'altitude, aux rochers des Bosses. Il y eut d'ailleurs une forte concurrence entre l'observatoire de Vallot et celui de Janssen, sur des questions de priorité. Si l'observatoire de Janssen fut largement financé par sa société (à hauteur de 140 000 F pour Bischoffsheim, 100 000 F pour le prince Roland Bonaparte entre autres), il reçut également 8 000 F de l'Etat, ce qui était suffisant pour que Vallot le qualifie d' « observatoire de l'Etat », contrairement au sien qu 'il finança avec sa fortune personnelle. Source : VIVIAN, Robert, *L'épopée Vallot au Mont Blanc*, Denoël, Paris, 1986, p.108.

[721] En outre, la construction repose sur des plans rigides, sur lesquels s'appuient des vérins, et offrant une résistance allant au-delà de 3000kg/m^2.

Ces actions spectaculaires suscitent évidemment un enthousiasme fort, certains commentateurs en profitant pour exalter le génie de Janssen : nous avons déjà évoqué les articles de Radau, Durand-Gréville, Tissandier. De plus, l'observatoire de Meudon et celui du mont Blanc confirment comment s'articule la démarche expérimentale de Janssen que nous avons étudiée dans la partie 2. A la fois pratique de laboratoire, pratique observationnelle et pratique sur le terrain, David Aubin écrit à ce sujet : « Why did he not resolve to stay in the Meudon castle and enjoy the quietness of Parisian suburbs ? As I have suggested, the association of astrophysics with travel was no less accidental than its reliance on the laboratory. […] At the intersection of the laboratory, the observatory, and the field, astrophysics was constituted as a crucial disciplinary node where the transformations of some of the most important institutions of 19th-century were coordinated. »[722] Plus encore, les voyages et les aventures font vivre l'héritage humboldtien dont Janssen est le descendant, et maintiennent l'idée d'une science sensible, émotionnante, très visible lorsque Janssen écrit par exemple :

> Ces collines, ces vallées, ces plaines, ces cités colorées en bleu par l'énorme épaisseur d'atmosphère qui m'en séparait, me donnaient l'impression d'un monde vivant au fond d'un immense Océan aux eaux d'un bleu céleste ; il me semblait entendre les bruits et l'agitation qui s'en élevaient et venaient mourir à mes pieds. Puis, si ma vue, quittant ces merveilleux lointains, se reportait autour de moi, le contraste était frappant : c'était un monde de glaciers, de pics déchirés, de déserts de neige, de blancs précipices, sur lesquels régnait un silence saisissant. Alors je me figurais avoir sous les yeux une de ces scènes que nous pouvons imaginer quand la Terre aura vieilli, que le froid en aura chassé la vie, et que sur sa face régnera le grand silence de la fin.
>
> Les impressions excitées par cet inoubliable tableau eussent été inépuisables, mais je m'y dérobai et commençai mes observations. Elles se rapportaient à la Spectroscopie, au point de vue de l'horizon dont on pourrait disposer sur la cime, à l'étude d'un emplacement pour un observatoire, à celles de la transparence de l'atmosphère.[723]

Un mythe se crée petit à petit, mais le bilan de Janssen apparaît pourtant plus nuancé. En effet, si Janssen n'a pas d'élèves, certains cependant, comme Albert Nodon, se réclament de

---

[722] « Pourquoi n'a-t-il [Janssen] décidé de rester dans le château de Meudon et de profiter du calme de la banlieue parisienne ? Comme je l'ai suggéré, l'association de l'astrophysique avec le voyage n'était pas moins fortuite que son rapprochement avec le laboratoire.[…] A l'intersection du laboratoire, de l'observatoire et du terrain, l'astrophysique s'est développée à un nœud disciplinaire crucial où les transformations de quelques unes des plus importantes institutions du XIX^{ème} siècle se sont rencontrées. ». AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.633.

[723] JANSSEN, J., « Compte rendu d'une ascension scientifique au mont Blanc », *CRAS*, 1890, t.111, p.440.

son héritage. Ce dernier, d'après une notice parue dans *L'Astronomie*, aurait travaillé à Meudon avec Janssen, d'abord comme préparateur en 1894, puis comme astronome adjoint en 1896, avant de rejoindre Eleuthère Mascart au Collège de France en 1897[724]. Ce personnage, dont une étude biographique plus approfondie sera nécessaire, semble avoir reçu un accueil plutôt froid de l'Académie des Sciences. Après avoir été reçu docteur ès sciences physiques à l'Université de Toulouse, il rejoint l'industrie, probablement parce qu'aucun observatoire ne l'a accueilli. En 1926, il publie cependant un ouvrage au caractère précurseur et moderne : *Eléments d'astrophysique. Introduction à l'étude de l'énergétique solaire et stellaire*, un résumé de conférences faites à Bordeaux[725]. En introduction, il parle de Janssen comme son « illustre maître », et évoque son passage à Meudon d'une façon plus qu'enthousiaste : « Lorsque jadis, j'assistais Janssen dans ses recherches sur la spectroscopie des gaz, je me rappelle avec émotion les joies profondes que me procuraient les études d'une science nouvelle, d'où devaient sortir peu d'années après, les plus belles conquêtes de l'infini. »[726] Pourtant, nous n'avons trouvé aucune mention de Nodon dans les articles, la correspondance ou les carnets de Janssen, ni dans les dossiers administratifs concernant le personnel de l'observatoire : une recherche ultérieure s'imposera pour éclairer un aspect de l'AP probablement fécond.

De même, Aymar de la Baume Pluvinel fera état de tout ce qu'il doit à Janssen. Il écrit à Flammarion après la mort de Janssen : « J'ai passé quelques jours à Paris aux environs du 15 décembre, et, lorsque j'ai appris l'état désespéré de M. Janssen, j'ai prolongé mon séjour pour avoir la consolation de revoir, une dernière fois, mon illustre maître sur son lit de mort. C'est que je dois beaucoup à M. Janssen. Lorsque je travaillais avec lui, il y a une quinzaine d'années déjà, je subissais l'action de son énergie communicative et je revenais de nos visites à Meudon la tête pleine d'idées nouvelles avec une nouvelle ardeur pour le travail. »[727] Mais quelle légitimé scientifique de la Baume Pluvinel a-t-il pu avoir ? Deslandres écrit à Campbell en 1910 qu'à partir de 1904 « l'observatoire était dirigé par sa femme [Mme Janssen] et sa fille, qui avaient pris pour directeur scientifique de la Baume Pluvinel, lequel est un homme

---

[724] Voir « Albert Nodon », *L'Astronomie*, 1934, p.500-501 ; VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié. Nodon avait d'abord rejoint en 1885 le laboratoire des recherches physiques de la Sorbonne, où il s'intéressa aux phénomènes électromagnétiques solaires.

[725] Nodon était président de la Société Astronomique de Bordeaux, directeur du Musée de la Mer, à Biarritz, ou encore Conseiller technique du Comité de Bordeaux pour la lutte contre le cancer.

[726] NODON, Albert, *Eléments d'astrophysique. Introduction à l'étude de l'énergétique solaire et stellaire*, Librairie scientifique Albert Blanchard, Paris, 1926, p.2.

[727] *Lettre de Aymar de la Baume Pluvinel à Camille Flammarion le 31 décembre 1907*, Bibliothèque de l'observatoire de Juvisy.

sérieux mais un simple amateur. C'était intolérable. »[728] De la Baume Pluvinel va effectivement cultiver la pratique scientifique de Janssen : observations d'éclipse (1889, 1890, 1893, 1900, 1901, 1905, 1912, 1914, 1932), isolation et origine de raies telluriques (bande B de l'oxygène notamment) entre autres par des séjours au mont Blanc ou par utilisation de ballons sondes (jusqu'à 9 000 m), utilisation de la photographie pour l'enregistrement de spectres cométaires (identification des bandes du cyanogène)[729].

Les rapports de Janssen avec ses adjoints ou assistants ont souvent semblé difficiles. Nous avons déjà vu ses rapports avec Trouvelot dans la partie 2. De même, Louis Rabourdin connaîtra avec Janssen des moments difficiles. Rabourdin, après avoir été calculateur à l'observatoire d'Alger de 1887 à 1891 puis rédacteur au *Cosmos,* est accueilli par Janssen à Meudon en 1897, pour effectuer des photographies de nébuleuses à l'aide du télescope de 1m, ceci pour une indemnité de 500F[730]. Mais en juin 1899, Janssen lui supprime le télescope ; Rabourdin écrit alors le 17 juin au directeur de l'enseignement supérieur : « *J'ai l'honneur de vous informer que M. Janssen m'a retiré d'une façon définitive l'usage du télescope dont je me servais depuis le commencement de 1897* [...] *Vous me permettrez d'exprimer mes regrets de ne pouvoir trouver plus d'appui lorsque* […] *je voulais bien* [...] *continuer à travailler sans traitement et pour le seul intérêt de la Science »*[731]. Rabourdin retournera à Meudon, après la mort de Janssen, et sous la direction de Deslandres.

Il apparaît également que Janssen a accueilli quelques étudiants étrangers, à qui il confiera diverses tâches à Meudon, ou au mont Blanc. C'est le cas du Serbe Stanoïevitch, placé à Meudon pour parfaire son instruction scientifique. Dans l'optique d'obtenir la chaire de physique à l'Ecole militaire de Belgrade, Stanoïevitch a déjà suivi les cours de Jamin à la Faculté des Sciences de Paris, et travaillé avec Neumayer à Hambourg, puis avec Vogel à l'observatoire de Potsdam. Janssen présentera entre 1901 et 1905 trois notes de Stanoievitch à l'Académie des Sciences, sur le photomètre physiologique ou le paratonnerre à cornes dentelées. Meudon accueillera également le Tchèque Milan Ratislav Stefanik, l'un des fondateurs de l'Etat tchécoslovaque indépendant. Diplômé de sciences astronomiques en

---

[728] *Lettre de Henri Deslandres à William Campbell le 28 septembre 1910,* Bibliothèque du Lick Observatory. Nous remercions chaleureusement Arnaud Saint-Martin de nous avoir communiqué cette correspondance.

[729] « Aymar de la Baume Pluvinel », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* vol.99, 1939, p.298-299. De la Baume Pluvinel écrira à Flammarion au sujet de la photographie : « Je n'avais jamais voulu m'occuper de cette planète [Mars] jugeant qu'il faut une grande autorité -que je n'avais pas – pour faire accepter des observations visuelles dont on ne peut évidemment apporter aucune preuve. Mais, avec la photographie, on n'a plus la même responsabilité : on dit ce que l'on voit sur les clichés, et on les tient toujours en réserve, comme pièces à conviction. ». *Lettre de Aymar de la Baume Pluvinel à Camille Flammarion le 7 novembre 1909,* Bibliothèque de l'observatoire de Juvisy.

[730] Archives Nationales, F17 2955A.

[731] Cité in VERON, Philippe, *op.cit.*

1904, celui-ci décide de poursuivre ses études en France, et c'est à Meudon que Janssen l'accueille. Il mettra notamment au point un nouveau modèle de spectrohéliographe avec l'astronome Gaston Millochau, dont nous reparlerons plus loin. Les astronomes russes feront également quelques études à Meudon : c'est le cas d'Alexis Hansky et de Gabriel Tikhoff, qui réaliseront dès 1897-1898 des travaux de spectroscopie, de photographie ou d'actinométrie. Stefanik, Hansky et Tikhoff seront également des hôtes actifs de l'observatoire de Janssen au Mont-Blanc, à une époque où celui-ci sera trop vieux pour y monter lui-même.

Ainsi, aucune réelle équipe ne s'est cristallisée autour de Janssen, qui n'a professé aucun cours ni rédigé d'ouvrage majeur sur l'AP. Mais son héritage est fort : observatoires, méthodes pérennes, instrumentation moderne. Tous les éléments sont en place pour élever à Janssen sa statue dans le parc de Meudon, le 31 octobre 1920, événement au cours duquel vont discourir Guillaume Bigourdan, Camille Flammarion, le prince Roland Bonaparte, ou encore Henri Deslandres, dont nous verrons pourtant le jugement plus que négatif qu'il portait sur l'apport de Janssen à l'AP. Janssen est, au moins à ce moment, érigé comme une figure mythique et consensuelle, le père de l'astrophysique française.

3.1.5 Deslandres : trajectoire diagonale sur l'échiquier de l'Astronomie Physique française

Janssen meurt le 23 décembre 1907. Peu après, Deslandres écrit à Flammarion : « J'ai regretté vivement ce contre-temps car j'aurais voulu dire des mots d'éloge bien sentis sur mon ancien directeur, qui, cependant, m'a maltraité de toutes les manières. Mais, comme je l'écrivais à Madame Janssen, j'estime que la mort efface tous les dissentiments, et j'aurai certes de nouveau l'occasion de montrer que je suis sans rancune. »[732] En 1910, il écrit de façon plus virulente à l'américain Campbell : « Cette médaille Janssen, destinée aux astrophysiciens, est une des bonnes œuvres de mon prédécesseur. Par contre, sur d'autres points, il a été bien nuisible. Il a gêné fortement, et par tous les moyens, les astronomes sous ses ordres (Trouvelot, Perrotin, et moi-même) ; en fait, il n'a formé aucun élève ; et comme le disait justement M^{r} Poincaré, il a arrêté pendant plus de 20 ans les progrès de l'astronomie physique en France. […] D'après la coutume française, le fondateur d'un établissement en conserve la

[732] *Lettre de Henri Deslandres à Camille Flammarion le 9 janvier 1908*, Bibliothèque de l'observatoire de Juvisy.

direction jusqu'à sa mort : mais Janssen, à partir de 1904, était ramolli, gâteux […] ».[733] (voir la lettre entière en annexe 7).

Après la mort de Janssen, Deslandres se veut sans conteste le chef de file de l'AP en France. Durant les années 1890, il va investir la discipline : événement significatif, il passe en effet de l'OP à l'observatoire de Meudon en 1898. Un élève de Cornu intègre ainsi l'observatoire que Janssen a réussi à se faire construire pour y développer sa vision de l'AP. Deslandres était déjà actif, puisque, en dehors de ses travaux spectroscopiques à l'OP que nous avons étudiés dans la partie 2, il adopte une stratégie du voyage peu conforme aux idées caractérisant Fizeau ou Cornu. En 1893, il part au Sénégal observer une éclipse de Soleil : il en publiera un compte rendu en 1897 dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* où figure un grand nombre des idées qu'il développera par la suite, comme l'origine électrique des phénomènes solaires. En 1896, il est au Japon pour une nouvelle observation d'éclipse : avec Gaston Millochau, Ferdinand et Joseph Mittau, ses assistants, et à l'aide d'un équatorial de huit pouces prêté par Janssen, de deux équatoriaux de cinq et six pouces, d'un grand pied Cauchoix et d'un sidérostat polaire, il tend à confirmer la dépendance entre taches, protubérances et couronne. De plus, il finance en partie son voyage comme l'indique cette lettre au Ministère de l'Instruction Publique : « J'ai appris par Monsieur Franche que le crédit extraordinaire demandé par la mission astronomique n'a pas été admis par le ministère, mais que vous avez décidé de prendre en partie la somme nécessaire sur les budgets ordinaires de 1897 et 1898. Certes, dans ces conditions une partie de la dépense m'incombera ; mais comme j'ai quelques ressources personnelles, l'inconvénient est minime. »[734]

En 1897, il se rend à Chicago pour l'inauguration du nouvel observatoire que Hale a fait financer par Yerkes. Là encore, Deslandres voyage à ses frais, et s'assure le soutien de Cornu qui écrit au Ministre de l'Instruction Publique :

---

[733] *Lettre de Henri Deslandres à William Campbell le 28 septembre 1910*, Bibliothèque du Lick Observatory.

[734] Archives Nationales, F17 2955 A. L'objectif de cette mission est scientifique mais aussi politique. Dansune lettre probablement rédigée par Faye, on peut lire : « En dehors du point de vue exclusivement scientifique, il ne lui échappe pas que le maintien de notre influence dans l'Extrême Orient dépend à un certain degré du rang qu'occupe la France dans le domaine intellectuel et que nous ne saurions sans inconvénient nous laisser devancer sur ce terrain aux yeux des Orientaux par aucune autre puissance ni nous effacer devant elle. En nous remontrant aux côtés des Russes dans cette manifestation scientifique nous aurons une occasion nouvelle de resserrer les liensqui nous unissent à cette grande nation ». Archives Nationales, ibid.

Monsieur le Ministre,

M. Deslandres devant partir incessamment aux Etats-Unis à l'occasion de l'inauguration de l'Observatoire de Chicago, désirerait profiter de ce voyage pour visiter les observatoires et les établissements scientifiques qui se rattachent à ses études.

Dans ces conditions, M. Deslandres estime qu'une mission gratuite de votre ministère lui serait d'un utile secours pour être bien accueilli et en a témoigné le désir au Bureau.

Le Bureau des Longitudes appuie vivement auprès de vous cette demande d'un savant qui a déjà rempli, - à son honneur- deux missions importantes.

Deslandres est donc actif et mobile à une époque où la discipline connaît une structuration importante, notamment aux Etats-Unis. En novembre 1896, il reçoit le prix Janssen en récompense de ses travaux solaires à l'aide du spectrohéliographe. Il rend visite à Janssen le 26 novembre avec qui il prend le train[735], puis à nouveau le 30 novembre 1897. Enfin, le 30 décembre 1897, Janssen se rend « Au Ministère avec MM. Deslandres, Millauchau, Heymann, Lamiable, Hansky, Becquerel, Cornu »[736] ; à cette date, Deslandres est déjà membre du personnel de Meudon :

M.Deslandres, nommé astronome titulaire par arrêté du 23 novembre 1897 – avec effet à dater du 1er décembre 1897 – Précédemment astronome à l'observatoire de Paris au traitement de 4 500 F sur lequel il a subi mes retenues nécessaires et qu'il a touché jusqu'au 30 novembre 1897 [737]

Dès ce moment, Deslandres est candidat à un fauteuil à l'Académie des Sciences. Il semble être soutenu par Janssen pour remplacer Félix Tisserand : « Tout cet ensemble remarquable de travaux, qui a déjà valu à M. Deslandres le prix Janssen pour 1896, a paru à la section d'astronomie mériter à leur auteur, une place distinguée dans la liste de présentation. »[738] C'est en fait l'astronome Rodolphe Radau qui est élu, et ce dernier le soutiendra à son tour en 1902, après la mort de Faye : « A côté de résultats positifs, d'une portée capitale, qui peuvent être considérés comme acquis, nous avons rencontré des projets d'expériences et des recherches à peine commencées, dont on peut cependant prédire le succès, et prévoir les conséquences heureuses ; étant données l'habileté de l'expérimentateur et la persévérance dont il a toujours fait preuve. Aussi n'hésitons-nous pas à dire que M. Deslandres avait depuis longtemps sa place marquée sur la liste de présentation. »[739] En 1902, enfin élu[740], Deslandres

[735] Carnets de Janssen conservés la Bibliothèque de l'Institut, MS 4132, carnet 2
[736] *Ibid.*
[737] Archives Nationales, F17 3751.
[738] Archives de l'Académie des Sciences, dossier Deslandres.
[739] *Ibid.*

est, avec Janssen, le seul représentant de l'AP à l'Académie, la section d'astronomie comprenant à cette date Octave Callandreau, Rodolphe Radau, Charles Wolf et Maurice Loewy[741].

Dès son arrivée en 1898 à l'observatoire de Meudon, Deslandres s'approprie la grande lunette, pour laquelle il prend en charge personnellement les derniers frais nécessaires à son installation : « Très intéressé par la grande lunette, il avait contribué de ses propres deniers aux dernières dépenses pour la mise en service de l'instrument. Il obtient que lui soit confiée la gestion de l'instrument. Il entreprend aussitôt l'exploitation du puissant appareil. Il en tirera un remarquable parti dans tous ses aspects et il en restera le principal utilisateur jusqu'en 1904. »[742] L'analyse des publications de Deslandres entre 1898 et 1907, année de la mort de Janssen, dans les *CRAS*, montre une grande diversité apparente des sujets. Sur un total de 54 publications[743], on relève :

Spectroscopie et imagerie solaire :	41 %
Spectroscopie stellaire, planétaire, cométaire :	18 %
Spectroscopie (études de laboratoire sur les gaz, effet Zeeman) :	17 %
Rayonnements cathodique et hertzien :	11 %
Photographie :	2 %
Photométrie :	2 %
Divers :	9 %

---

[740] Deslandres s'est présenté contre Guillaume Bigourdan. Au sujet de son élection, la femme de Bigourdan , qui était aussi la fille du directeur de l'OP, l'amiral Mouchez donne son avis dès le lendemain de l'élection sur Deslandres, personnage plutôt intrigant et de peu de valeur, ayant comme seul avantage de sortir de l'Ecole Polytechnique : « Je suis si navrée et révoltée de ce qui se passe que je n'ai pas eu le courage de t'écrire hier […]. Comment se fait-il que 30 voix se tournent contre Guillaume pour [Deslandres] : 1/ il est de l'École, 2/ il a de la fortune, donne nombre de dîners et envoie des fleurs, 3/ au lieu de consacrer sa vie à une œuvre, il s'est appliqué à travailler pour ceux qui pouvaient voter pour lui, comme Berthelot, Bouchart, Becquerel, Maurice Long, etc. 4/ et avant tout il ne va pas à la messe comme mon mari et la plus grande part des Dreyfusards ont voté pour lui […]. Avec cela on a beau être un des meilleurs astronomes français, avoir sept enfants à élever, on peut mourir de faim tranquillement, personne ne le trouvera mauvais. Un vieux garçon riche et intrigant est beaucoup plus intéressant ». Selon eux, c'est en voulant faire barrage à son gendre, qu'il n'appréciait pas, que Mouchez a nommé Deslandres responsable du Service de spectroscopie à l'OP, comme la femme de Bgourdan l'écrit à son frère en décembre 1902 : « […] De plus, papa, en refusant, il y a 12 ans, des instruments de spectroscopie à mon mari lui a cassé les reins et toute chance d'arriver à l'Observatoire de Meudon. Deux mois après, il nommait Deslandres à l'observatoire ». Cité in VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

[741] Source : MAISON, Laëtitia, La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique, Université de Bordeaux 1, 2004, p.278.

[742] DOLLFUS, Audoin, *La grande lunette de Meudon. Les yeux de la découverte*, CNRS Editions, Paris, 2006, p.71.

[743] Durant la période précédente (1885-1897), Deslandres a rédigé 42 notes ; durant la période suivante (1908-1914) : 53 notes.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

(voir également en annexe 5, la répartition des publications de Deslandres dans les *CRAS* entre 1885 et 1929).

On constate la permanence de travaux spectroscopiques, quels qu'ils soient, alors que la photographie ne va donner lieu qu'à un seul article dans les *CRAS*.
Audoin Dollfus a relaté récemment, de façon précise, l'utilisation par Deslandres de la lunette photographique de Meudon[744]. Dès sa nomination à l'observatoire de Meudon, Deslandres y porte son attention et réalise des photographies de Jupiter, de Saturne, d'amas d'étoiles (M13, M3, M56, M11 et M92) ou de nébuleuses (nébuleuses planétaires, nébuleuse d'Orion).

<u>Fig. 3.1.4</u>. : Photographies de planètes et de nébuleuses par Deslandres, à l'aide de la grande lunette de Meudon.
<u>Source :</u> DESLANDRES, Henri, « Comparaison entre l'observation photographique et l'observation oculaire », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, mai 1901, p.144-153 ; juin 1901, p.167-172.

Si Deslandres ne publie qu'un seul article concernant ses photographies qu'il faut qualifier de pionnières, notamment celles des nébuleuses planétaires, les photographies elles-mêmes apparaissent dans le *Bulletin Astronomique de l'Observatoire de Paris* de février 1900 (Deslandres fait alors partie du comité de rédaction), mais aussi dans une revue d'amateurs, le *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*. Il ne donne aucune perspective pour ses photographies de planètes, celles-ci apparaissant comme un moyen de qualifier la lunette photographique par la qualité visuelle des clichés obtenus. Pour les nébuleuses et amas d'étoiles, il ajoute des commentaires indiquant ses idées sur l'intérêt de photographier de tels astres. Il écrit par exemple au sujet de l'amas d'Hercule : « A partir du centre, et autour de ces plages sombres, j'ai distingué des files d'étoiles, de forme spirale, qui conduisent à penser que l'amas peut être le résultat ultime d'une nébuleuse spirale »[745]. Et sur les nébuleuses planétaires :

[744] DOLLFUS,Audoin, *op.cit.*,
[745] DESLANDRES, Henri, « Comparaison entre l'observation photographique et l'observation oculaire », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, mai 1901, p.146.

En résumé, cette étude photographique a fourni des résultats fort intéressants sur ces nébuleuses planétaires, considérées à juste titre comme des objets difficiles à observer. Elle fait ressortir une tendance générale à la forme spirale, déjà reconnue avec les nébuleuses plus larges. Or, on sait que la forme spirale des nébuleuses implique presque nécessairement une force répulsive émanée du noyau, comparable à la force répulsive qui forme les queues cométaires. Cette forme répulsive, que l'on peut opposer à l'attraction newtonienne, mais dont la nature et les variations ne sont pas bien déterminées, doit jouer un rôle important dans l'évolution des mondes stellaires.[746]

Deslandres exprime la visée cosmogonique de ses travaux, qu'il expose dans cette revue belge amateur, mais qui n'apparaît pas dans l'article original paru dans les *CRAS*. Ceci représente pour nous un aspect important des travaux français à cette époque, que nous développerons dans le chapitre suivant. Mais d'ores et déjà apparaît le caractère homogène des travaux d'AP en France à cette époque : par son horizon cosmogonique et l'unité des phénomènes cosmiques et terrestres qui la sous-tend, l'AP marque sa spécificité, et s'oriente majoritairement vers des recherches visant à expliquer que protubérances, comètes, nébuleuses ou amas montrent la même forme, suggérant une évolution d'un type à un autre qu'images ou travaux spectroscopiques sont susceptibles de révéler.

Après ces photographies, Deslandres en vient alors à utiliser la grande lunette pour des travaux spectroscopiques sur les étoiles dès 1898 comme l'attestent ses carnets de travail conservés à Meudon. Il teste diverses combinaisons optiques durant l'année 1899, et publie en 1900 un article sur l'étoile δ Orion[747] : il note à cette occasion une variation de sa vitesse radiale donnant une période (provisoire) de 1,92 jours, cette étoile étant une étoile double. Il poursuit ainsi le programme de spectroscopie stellaire commencé à l'OP : entre 1899 et 1903, il obtiendra plusieurs dizaines de spectres d'étoiles, de planètes (recherche de lois de rotations de planètes à faible éclat), ou de nébuleuses y compris planétaires. En 1904, Deslandres fait ainsi partie des découvreurs d'étoiles doubles spectroscopiques mentionnés en 1905 dans le « First catalog of spectroscopic binaries » publié par William Campbell[748] : à Deslandres revient la découverte de 2 étoiles binaires (δ Orion et θ Aigle) sur les 147 répertoriées à cette date (la moitié revenant au Lick observatory). Deslandres participe donc à ce moment à un programme international de recherches de binaires spectroscopiques regroupant les

---

[746] DESLANDRES, Henri, « Comparaison entre l'observation photographique et l'observation oculaire », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, mai 1901, p.144-153 ; juin 1901, p.171-172.

[747] DESLANDRES, Henri, « Variations rapides de la vitesse radiale de l'étoile δ Orion », *CRAS*, t.130, 1900, p.379-382.

[748] CAMPBELL, William, CURTIS, Heber, « First catalog of spectroscopic binaries », *Lick Observatory Bulletin*, n°79, 1905, p.136-146.

observatoires Lick, Harvard, Yerkes et Lowell pour les USA, de Cambridge pour la Grande Bretagne, de Potsdam pour l'Allemagne, de Pulkovo pour la Russie et de Meudon pour la France : « L'année dernière, le professeur Frost, de l'observatoire Yerkes, a proposé que les six ou sept observatoires organisés pour cette étude unissent leurs efforts et recherchent en commun les causes d'erreur inhérentes à ces observations nouvelles. Il demande que plusieurs étoiles désignées à l'avance soient photographiées par tous et à peu près au même moment, et que les mesures et les modes opératoires soient ensuite comparés. L'observatoire de Meudon a adhéré à ce programme qui peut donner d'excellents résultats,malgré la difficulté grande de comparer des observations faites dans des conditions assez diverses. »[749]

Fig. 3.1.5. : Extrait d'un tableau de résultats de spectres stellaires.
Source : Carnets de Deslandres conservés à l'observatoire de Meudon.

En 1901, Deslandres effectue également un long suivi spectroscopique d'une nova : l'étoile « temporaire » apparue dans Persée en février 1901. Ce phénomène, une nova, se révèle intéressant sur au moins deux points. Tout d'abord, il donne l'occasion à Deslandres de continuer la recherche que Cornu avait effectuée en 1876 sur l'étoile « nouvelle » apparue dans la constellation du Cygne : Cornu avait noté l'évolution du spectre montrant en premier lieu les raies brillantes des protubérances solaires, puis seulement les raies caractéristiques des nébuleuses.

Fig. 3.1.6: Spectre photographique de Nova Persei (du coté du violet)
Source : DESLANDRES, Henri, « Spectres de Nova Persei », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie,* avril 1901, p.119.

Fig. 3.1.7 à 3.1.9: relevés spectroscopiques de Nova Persei dans la partie du spectre non photogénique (du côté du rouge)
Source : Carnets de Deslandres conservés à l'observatoire de Meudon.

[749] DESLANDRES, Henri, «Résultats principaux obtenus en 1902 sur les vitesses radiales des étoiles. Causes d'erreur spéciales à ces recherches», *CRAS*, t.136, 1903, p.208.

L'identification des raies et la mesure de leurs positions sont systématiquement comparées à des mesures de laboratoire donnant les spectres du fer, de l'hélium, du calcium ou de l'hydrogène, ceci durant l'ensemble de la campagne d'observations de la nova, de février à mai 1901. Deslandres tente alors, au contraire d'un Cornu qui, nous l'avons vu, ne pouvait aller plus loin que les faits observés, d'interpréter les phénomènes. Il suggère tout d'abord deux hypothèses : soit la nova est un astre unique connaissant des déplacements de masse (hydrogène et calcium) antagonistes, soit il correspond à la rencontre de deux astres, « dont l'un est peut-être une nébuleuse, et qui s'approcheraient l'un de l'autre, avec une énorme vitesse. »[750] Dans la troisième et dernière note qu'il publie sur le sujet, il reste plus circonspect à cause des spectres observés plus tardivement. Il retrouve les résultats de 1876, mais envisage l'idée que le stade nébuleuse est l'aboutissement de la nova : « L'étoile, dans sa phase de décroissance, paraît soumise à des variations qui tantôt font prévaloir la lumière des protubérances solaires, laquelle correspond à son état initial et à ses maximums d'éclat, et tantôt laissent apparaître ou même prédominer la lumière spéciale des nébuleuses qui, d'après les analogies, doit constituer son état final. »[751] L'évocation d'une évolution des astres d'un type à un autre, la perspective catastrophique qu'il évoque, seront à restituer dans un contexte particulier que nous détaillerons dans un prochain chapitre. Il nous apparaît que les travaux de Deslandres, qu'ils soient de type observationnels (photographiques, spectroscopiques), ou expérimentaux (nous verrons plus loin ses recherches sur les rayons cathodiques ou les tourbillons), participent d'un renouveau cosmogonique qu'il s'avère indispensable de décrire et de comprendre, dans le contexte physicien et astronomique de ce début de XX^{ème} siècle.

Une prise de conscience internationale de la nécessité d'un programme astrophysique commun émerge, qui nécessite, à l'instar des recherches solaires ou de la Carte du Ciel, une standardisation des mesures pour éviter une dispersion des résultats qui « préoccupe actuellement les astronomes qui sont frappés par les divergences que présentent les résultats de plusieurs observateurs sur une même étoile. »[752] Mais Deslandres, pourtant partie prenante, abandonne à ce moment ses études de spectroscopie stellaire pour reprendre ses travaux sur le Soleil à l'aide de ses spectrohéliographes.

---

[750] DESLANDRES, Henri, « Détails complémentaires sur la nouvelle étoile nouvelle de Persée », *CRAS*, t.132, 1901, p.621.
[751] DESLANDRES, Henri, « Troisième série d'observations de la nouvelle étoile nouvelle de Persée », *CRAS*, t.132, 1901, p.1544.
[752] *Ibid.*

Cette « épopée » solaire entreprise à Meudon est la suite de ses travaux débutés à l'OP, et a été décrite en détail et en illustrations par Audoin Dollfus[753]. Nous retiendrons que dès son arrivée à Meudon en 1898, Deslandres travaille à utiliser les ressources de l'observatoire de Meudon pour poursuivre l'enregistrement des éléments variables du Soleil, à savoir filaments, facules, protubérances, c'est-à-dire à visualiser les formes et les mouvements des différentes couches de la chromosphère. Il continue donc à isoler et enregistrer photographiquement les raies H et K du calcium, ainsi que celles de l'hydrogène ou du fer. La raie K du calcium est parmi les plus importantes, celle-ci se divisant en trois parties K1, K2 et K3, correspondant à des couches de plus en plus élevées de la chromosphère, permettant ainsi leur visualisation et le suivi de leur évolution.

Fig. 3.1.10: Courbe des intensités des intensités de la lumière dans le spectre à l'emplacement de la raie K ; images diverses avec la raie K du calcium.
Source : DESLANDRES, Henri, « Caractères de la couche supérieure de l'atmosphère gazeuse du Soleil », *CRAS*, t.147, 1908, p.1017 ; DESLANDRES, Henri, *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV*, Gauthier-Villars, Paris, 1910, planche 25.

Nous ne détaillerons pas l'ensemble du travail spectrohéliographique fait par Deslandres à Meudon, en renvoyant à l'article d'Audoin Dollfus. Nous mettrons simplement l'accent sur les aspects qui nous semblent les plus remarquables de ce travail. En effet, Dollfus montre bien l'évolution des appareils et la nature particulière du travail de Deslandres. Alors qu'il commence par utiliser un petit sidérostat (Janssen note d'ailleurs dans un carnet qu'il rencontre Deslandres le mardi 19 juillet 1898 pour définir son emplacement[754]), l'installation s'agrandit en 1906 quand Deslandres devient directeur adjoint de l'observatoire et obtient un crédit extraordinaire de 90 000 F par le Gouvernement et les deux Chambres.

[753] DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, février et mars-avril 2003, p.68-74 et p.148-153, mars-avril 2005, p.150-159

[754] Carnets de Janssen conservés la Bibliothèque de l'Institut, MS 4132, carnet 3.

<u>Fig. 3.1.11 et 3.1.12</u>: Installations des spectrohéliographes à Meudon

<u>Source :</u> DESLANDRES, Henri, *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV*, Gauthier-Villars, Paris, 1910, p.18 et planche 21.

Il réalisera à Meudon sept appareils différents, sur le mode de la récupération du matériel et de l'utilisation des ressources locales : « Parmi tous les spectrographes de sa réalisation, Deslandres n'en consacra qu'un seul à un usage prolongé, le premier spectrohéliographe de Paris. L'instrument sera utilisé pour surveiller l'évolution de la chromosphère solaire pendant les quinze années de la période concernée [1892-1907]. Tous les autres appareils, après construction et réglage, ont été utilisés pour une campagne d'observation définie, puis ils ont été démantelés afin de réutiliser les pièces de façon différente. »[755]

A partir de 1903, Deslandres reprend également ses études spectroscopiques sur la répartition des raies dans les bandes, notamment pour l'azote : « J'ai toujours eu le désir de combler cette lacune ; mais c'est seulement en 1903 que j'ai pu reprendre l'étude des mêmes spectres avec des appareils cinq fois plus puissants qu'en 1886 et, avec l'aide de M. Kannapell, licencié ès sciences, commencer la mesure précise des longueurs d'onde qui est une tâche de longue haleine. »[756] Après quelque vingt ans, et à l'aide d'un matériel plus performant en termes métrologiques, Deslandres envisage toujours le même but : la recherche de lois empiriques, avec comme horizon la constitution de la matière. La spectroscopie l'occupera alors en permanence, surtout après la grande guerre, mais comme le note Charlotte Bigg : « Si Deslandres a été une figure internationale en astronomie, la physique qu'il pratique était par contre typiquement française.»[757] Et Charlotte Bigg d'insister sur une recherche dépassée, surtout liée au contexte physicien français de l'époque : à cause de la division forte entre physiciens expérimentalistes et physiciens mathématiciens, Deslandres ne possédait pas un bagage théorique suffisant pour faire la jonction entre ses lois empiriques et les nouvelles idées sur l'atome et les quanta. Quoi qu'il en soit, la recherche spectroscopique de Deslandres passera surtout, avant la première guerre mondiale, par la description, au laboratoire, de l'effet d'un champ magnétique, électrique ou de la pression sur les spectres des gaz pour la compréhension des phénomènes solaires (nous détaillerons dans le prochain chapitre cette

---

[755] DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, mars-avril 2005, p.159.

[756] DESLANDRES, Henri, « Loi générale de distribution des raies dans les spectres de bandes. Vérification précise avec le deuxième groupe de bandes de l'azote. », *CRAS*, t.138, 1904, p.317-323.

[757] BIGG, Charlotte, The reception of Bohr's atom in France (1913-1925), Manuscrit non publié.

recherche sur le champ magnétique solaire, et le lien que Deslandres fera avec ses idées sur les tourbillons) :

> En résumé toutes les conséquences entraînées par le champ magnétique sont vérifiées dans les moindres détails, et il faut accepter comme certain l'existence de ce champ général, analogue au champ terrestre, et en général beaucoup plus faible. Ce champ doit avoir avec le temps des variations d'intensité et de direction, variations locales ou générales et que l'on pourra suivre en multipliant les épreuves de vitesse radiale. L'enregistrement continu de ces vitesses, déjà réclamée en 1891 et 1893, devient nécessaire. Le champ magnétique solaire est révélé par les actions mutuelles de ce champ et des charges électriques, c'est-à-dire par la propriété fondamentale des champs magnétiques, de laquelle on peut déduire toutes les autres. D'autre part, les phénomènes solaires présentés à l'appui doivent se retrouver dans l'atmosphère terrestre qui, elle aussi, a un champ magnétique et des ions mobiles.[758]

<u>Fig. 3.1.13</u>: Champ magnétique solaire et protubérances
<u>Source :</u> DESLANDRES, Henri, « Champ magnétique général des couches supérieures de l'atmosphère solaire. Vérifications nouvelles. », *CRAS*, t.152, 1911, p.1577 et 1578.

A la mort de Janssen, Deslandres s'impose donc comme la figure de l'AP française : il répète souvent dans ses écrits qu'il a dû attendre d'être mis à la tête d'un observatoire pour mener à bien ses travaux, ce qui incitera certains à le considérer comme le « second fondateur » de l'observatoire de Meudon[759], quand il en prendra la « direction sans partage », remplaçant Janssen, son « omnipotent directeur ». En 1913, le jugement provincial est clair : « [M. Luizet][760] a aussi contribué, et par là il mérite les éloges de tous ses collègues, à maintenir en France les études d'Astronomie physique, si peu cultivées en dehors de l'Observatoire de Meudon et des élèves de M. Deslandres. »[761] Deslandres, qui deviendra membre du Conseil de perfectionnement de l'Ecole polytechnique en 1922, est donc perçu comme formant des élèves qui pérenniseront son travail et son approche des phénomènes. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous pouvons citer Bernard Lyot, qui écrira en 1948 à l'occasion de la mort de

---

[758] DESLANDRES, Henri, « Champ magnétique général des couches supérieures de l'atmosphère solaire. Vérifications nouvelles. », *CRAS*, t.152, 1911, p.1581.
[759] BOSLER, Jean, «Henri-Alexandre DESLANDRES», *Bulletin de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique «AX»* «, Gauthier-Villars, n°11, septembre 1948, p.72.
[760] Astronome adjoint à l'observatoire de Lyon à partir de 1907, Michel Luizet soutint une thèse d'astronomie à Lyon sur son travail sur les étoiles variables débuté en 1897 : *Les Céphéides considérées comme étoiles doubles, avec une monographie de l'étoile variable δ Céphée*, Université de Lyon, 1912.
[761] LEBEUF, A., « Luizet (Michel), Astronome-adjoint à l'Observatoire de Lyon. Les Céphéides considérées comme étoiles doubles, avec une monographie de l'étoile variable δ Céphée », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.24, 1913, p.360. Auguste Lebeuf a été directeur de l'observatoire de Besançon, de 1903 à 1928.

Deslandres : « Cet hommage est aussi un témoignage de profonde reconnaissance pour le Maître qui a dirigé et encouragé mes premiers travaux et orienté ma carrière. »[762] Diplôme de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Lyot deviendra préparateur à l'Ecole Polytechnique d'Alfred Pérot, qui lui ouvrira les portes de l'observatoire de Meudon en 1920. Lyot occupera lui aussi le terrain de l'optique, s'intéressant notamment à la polarisation des planètes, mais surtout il réalisera ce que Deslandres avait longtemps cherché : obtenir une image de la couronne solaire hors éclipse, à l'aide de son coronographe, en 1930.

Jean Bosler cédera lui aussi, envers Deslandres, à la coutume polytechnicienne de la notice nécrologique : « L'auteur de ces lignes a gardé le souvenir vivace de longues conversations d'hiver au coin du feu, dans la bibliothèque de l'Observatoire de Meudon, au cours desquelles il donnait libre carrière à toutes les idées, souvent suggestives, toujours ingénieuses, qui lui traversaient l'esprit… »[763] Nous reviendrons dans le dernier chapitre sur la carrière et les travaux de Bosler, mais nous pouvons d'ores et déjà noter l'importance du milieu polytechnicien pour l'évolution de l'AP, à Paris ou à Meudon autour de Deslandres :

> [Bosler] côtoie et reçoit même chez lui les plus grands noms de la physique française : Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie avec qui il travaille sur la structure de l'atome, Henri Poincaré, qui est son professeur d'astronomie à l'Ecole Polytechnique et son directeur de thèse, Alfred Pérot avec qui il collabore au laboratoire de Polytechnique et à l'observatoire de Meudon, Charles Fabry et Henri Buisson ses collègues à la Faculté de Marseille, Louis Houllevigue avec qui il partage le même souci de pédagogie scientifique, Henri Chrétien, le célèbre astronome-opticien, dont l'amitié sans faille remonte à 1905, et Louis de Broglie qui, aux séances de l'Académie des Sciences, recherche sa compagnie et sa conversation érudite. Bosler met son talent de jeune physicien au service de la grande mutation de l'astronomie vers l'astrophysique. Il débute à l'observatoire de Meudon comme élève de Deslandres, l'autoritaire directeur de cet observatoire ; bientôt l'élève est perçu comme rival par le maître. [764]

L'un des élèves les plus importants de Deslandres aura certainement été Lucien d'Azambuja. Celui-ci est entré en avril 1899 à l'observatoire de Meudon âgé seulement de 15 ans : « » Le destin voulut qu'il fit ses études primaires à l'Ecole Saint-Joseph de Bellevue, tout près de l'Observatoire de Meudon, et que son directeur, le frère Etienne, dont il aimait dire avec reconnaissance qu'il avait reçu de lui ses habitudes d'ordre et d'honnêteté dans son travail, le

---

[762] LYOT, Bernard, *Funérailles de Henri Deslandres*, Hendaye, Imprimerie de l'Observatoire de Paris, 1948.
[763] BOSLER, Jean, *op.cit.*, p.72.
[764] GEORGELIN, Yvon, « Jean Bosler, les cratères lunaires, et la raie rouge du 'coronium' », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.70.

recommandât à Henri Deslandres, qui cherchait un assistant. »[765] Dans son rapport au Comité Secret tenu à l'Académie des Sciences le 24 novembre 1952, André Danjon note toute l'ambiguïté des relations entre Deslandres et d'Azambuja :

> Sans doute, Deslandres lui répète sans cesse qu'il lui faudra conquérir des grades, baccalauréat, licence, doctorat, mais en attendant, il l'accable de besogne : le jour, il l'emploie à la mise au point de ses spectrohéliographes, à la prise de clichés de la chromosphère, à des travaux de laboratoire sur les spectres de bandes, les rayons cathodiques et les rayons X ; la nuit, à la photographie ou à la spectrographie des étoiles, des planètes et des comètes. A d'autres époques, ce sont des missions hors de France pour l'observation d'éclipses. D'une activité peu commune, Deslandres ne sait pas attendre, et l'idée conçue le matin doit être mise en pratique le jour même. Admirable école, certes, pour le jeune astronome, mais quelles entraves pour ses études ! [766]

D'Azambuja devient aide-astronome en janvier 1908, obtient en juillet 1914 le second des trois certificats de la licence ès sciences et termine celle-ci en 1920, et soutient le 9 juillet 1930 une thèse sous le titre « Recherches sur la structure de la chromosphère solaire » : Deslandres l'intégrera pleinement à ses découvertes, notamment lorsqu'en 1909 tous deux réalisent, à l'instar de Hale, des clichés de la chromosphère dans la raie Hα. Collaboration fructueuse, apparemment difficile sur certains points, si l'on en croit Danjon :

> A l'époque de ses débuts, l'astronomie solaire était toute empirique. A défaut de théories pouvant servir de fils conducteurs, les meilleurs observateurs étaient exposés à tirer des conclusions trop affirmatives de séries d'observations trop courtes. Primesautier, Deslandres allait toujours de l'avant ; d'Azambuja, plus circonspect, s'efforçait de ralentir son allure. Les rapports, du reste affectueux du maître et de l'élève étaient ceux d'un père et d'un fils, avec, d'un côté, une autorité tyrannique et bougonne, de l'autre une soumission déférente, mais sur toutes choses, des idées opposées. Cependant, sans se l'avouer, Deslandres dut, plus d'une fois, faire son profit des sages avis de son jeune assistant. Tel était du moins le sentiment des témoins desquels j'ai recueilli des impressions.[…] [767].

Audoin Dollfus, qui a travaillé avec d'Azambuja, nous décrivait cependant toute l'admiration que ce dernier portait à son maître ; à la mort de Deslandres, en 1948, d'Azambuja lui rendra ainsi hommage : « Qu'il me soit ainsi permis d'associer à cet hommage celui, plus modeste, d'un des élèves dont il a orienté la carrière scientifique et qui, dans les trente années passées

---

[765] ROSCH, Jean, « Lucien d'Azambuja (1884-1970) », *Solar Physics*, vol.15, 1970, p.261.
[766] *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier d'Azambuja.
[767] *Ibid.*

près de lui, a pu apprécier l'homme au cœur sensible et bon, dont l'abord parfois un peu brusque dissimulait mal les qualités qui attirent et retiennent l'affection »[768].

Le sort de d'Azambuja, qui deviendra l'un grands spécialistes de l'astronomie solaire[769], ne sera pas partagé par Gaston Millochau. Celui-ci entre à l'observatoire de Meudon comme assistant le 2 février 1892, attaché au service de spectroscopie dirigé par Deslandres. Nommé le 25 octobre 1892 employé auxiliaire au conseil d'État, il démissionne de ce poste sur les instances de Deslandres. Il est alors nommé aide-astronome à l'observatoire de Meudon en 1897, puis muté à sa demande à l'Observatoire de Paris en 1907. Millochau écrit au ministre le 5 mars 1907 :

> […] En 1892, Monsieur Deslandres, m'ayant par de belles promesses, amené à donner ma démission d'employé auxiliaire au conseil d'Etat pour me faire entrer à l'observatoire de Paris, employa par la suite des procédés plutôt incorrects à mon égard et constituant une véritable exploitation scientifique. Ayant suivi en 1897 M. Deslandres à Meudon, à condition qu'il me fasse nommer aide astronome, celui-ci, vers 1900, changea sans raisons apparentes d'attitude à mon égard, et par ses insolences et ses humiliations me rendit l'existence d'autant plus pénible que les jeunes gens ignorants qu'il emploie dans son laboratoire, profitaient de son exemple pour manquer vis à vis de moi des plus simples convenances. [… En décembre 1903], Monsieur Janssen me retira du service de M. Deslandres et me fit travailler d'une façon différente puisque c'est à partir de cette époque que mes travaux furent publiés, sous mon nom, dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences […] [770].

Le ressentiment de Millochau à l'égard de Deslandres se lit clairement dans une note adressée le 23 mai 1906 au directeur de l'enseignement supérieur :

> En 1895, [...] j'eus l'idée d'appliquer ce procédé de recherches aux anneaux de Saturne ; j'eus peine à lui [Deslandres] faire accepter de tenter cette recherche ; une fois le résultat obtenu, il se l'appropria sans vergogne, tout en retardant tellement la publication qu'il se laissa devancer par Keeler. [...] Je fus surpris de trouver [en 1904] toute une série de documents qui établissent, d'une façon historiquement indiscutable que M. Deslandres a plagié G.E. Hale sur au moins deux points : 1/ sur les recherches sur le spectrohéliographe, 2/ sur l'étude de la couronne en dehors des éclipses.

---

[768] d'AZAMBUJA, Lucien, « Henri Deslandres», *L'Astronomie*, 1948, p.184.

[769] En 1932, d'Azambuja sera président de la Commission des Phénomènes Chromosphériques de l'Union Astronomique Internationale ; président de la Société Astronomique de France entre 1950et 1952 ; officier de la Légion d'Honneur ; il sera de façon officieuse, responsable de l'observatoire de Meudon après le départ de Deslandres en 1929 et la fusion administrative de Paris et Meudon en 1926.

[770] VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

En effet, l'animosité entre Millochau et Deslandres se voit, entre autres, dans un échange de notes parues dans les *CRAS* en 1906 et 1907[771]. Millochau, assisté de Stefanik, propose une nouvelle forme de spectrohéliographe, qui suscite une réaction immédiate de Deslandres qui revendique la priorité de l'idée avancée par Millochau et critique un certain nombre de points de son dispositif. Ce qui nous semble pourtant le plus intéressant est la publication en parallèle de la note du 2 avril 1906, d'un article identique dans l'*Astrophysical Journal*, journal international où Deslandres, nous allons le voir, a peu d'occasion d'écrire. Mais cet article est notablement plus long que la note dans les *CRAS*, puisqu'il comprend un historique du spectrohéliographe dans lequel Millochau 'shunte' tout simplement Deslandres au profit de son concurrent, Hale : « Pour les recherches solaires, l'invention du spectrohéliographe a la même importance que la découverte du télescope en astronomie. C'est un véritable télescope monochromatique, sans lequel certains détails de la constitution solaire seraient probablement resté inconnus. Le monde scientifique adresse ses remerciements à M. Janssen, qui imagina et réalisa le premier spectrohélioscope, et à M. Hale, qui, bien qu'ignorant de ce premier travail, réussit à construire le premier spectrohéliographe et à obtenir les premières photographies monochromatiques du Soleil. »[772]

Après la mort de Janssen, Millochau n'a plus de protection et quitte évidemment Meudon pour se retrouver à l'Observatoire de Paris, où il collabore avec Pierre Salet ou Maurice Hamy au service d'astronomie physique (nous détaillerons à cette occasion ses travaux.) En 1910, dans un ouvrage de vulgarisation[773], il retrace les événements scientifiques de sa carrière, et ne mentionnera jamais Deslandres au sujet du spectrohéliographe, ou des recherches spectroscopiques sur les planètes.

On peut donc dire qu'au début du XX^{ème} siècle, l'observatoire de Meudon, qui emploie, il faut le rappeler, peu de personnes[774], est un lieu de convoitises et de luttes de pouvoir. Dès avant la

---

[771] MILLOCHAU, G., STEFANIK, M., «Sur un nouveau dispositif de spectrohéliographe», *CRAS*, t.142, 1906, p.825-826 ; «On a new form of spectroheliograph», *Astrophysical Journal*, t.24, 1906, p.42-45 ; DESLANDRES, Henri, « Sur quelques détails du spectrohéliographe », *CRAS*, t.144, 1907, p.541-546.

[772] MILLOCHAU, G., STEFANIK, M., «On a new form of spectroheliograph», *Astrophysical Journal*, t.24, 1906, p.45.

[773] MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910.

[774] Nous pouvons encore citer Vital Burson. Entré à 17 ans, en 1898, à Meudon, il collaborera avec Deslandres, « qui le tenait en haute estime », sur le projet de spectroscopie stellaire ou sur la physique solaire. Nommé assistant en 1910, aide-astronome en 1920 et aide-astronome hors classe en 1930, « il fut l'âme du laboratoire d'Astrophysique ». Voir ESCLANGON, Ernest, « Vital Burson», *L'Astronomie*, 1933, p.192-194. Il ne publia, à notre connaissance, que deux notes sous son nom dans les *CRAS*, l'une sur le spectre de Nova Cygni, l'autre sur les protubérances à grande vitesse radiale.

Ainsi, en 1914, le personnel scientifique officiel de l'observatoire de Meudon comprend outre Deslandres : Lucien d'Azambuja (aide astronome), Vital Burson (astronome assistant), Alfred Pérot (astronome adjoint avec

mort de Janssen, en effet, alors que Boudenoot, sénateur du Pas-de-Calais, écrit au ministre le 12 janvier 1906 : « [...] J'ai l'intention, lors de la discussion du budget de l'instruction publique, de vous poser une question sur l'administration et le fonctionnement de l'Observatoire de Meudon, lesquels me paraissent compromis, en même temps que les intérêts de la science, par le maintien dans ses fonctions de directeur d'un homme âgé de 82 ans », Deslandres devient en juillet de la même année directeur-adjoint de l'observatoire de Meudon. Le 28 juillet 1906, le personnel de l'observatoire de Meudon est convoqué pour assister à la transmission des pouvoirs. Celle-ci est houleuse : Chevalier, mécanicien, Heyman, secrétaire, Pasteur et Janssen rédigent un compte rendu de la réunion qui est imprimé et transmis en décembre au ministère. Selon ce compte rendu, Deslandres aurait dit à Janssen : « Sachez que vous n'êtes plus rien […] rien que directeur honoraire, toute l'administration m'appartient [...] J'aurais pu prendre tout ; j'aurais pu me faire nommer directeur, on me l'a offert, je n'ai pas voulu [...] Je n'ai pas voulu accepter ; tous ces avantages matériels que j'aurais pu prendre, je vous les laisse ; c'est à moi que vous devez tout cela ». Dès qu'il est responsable de l'administration de l'observatoire, il congédie Heyman, citoyen hollandais, secrétaire de l'observatoire depuis 27 ans, l'informant le 6 décembre 1906 que son emploi serait supprimé le 1er janvier suivant. Il renvoit aussi Kannapel, attaché à l'observatoire depuis trois ans dans son propre service, « ses fermes convictions républicaines lui ayant valu la haine non dissimulée de Monsieur Deslandres ». Stefanik était logé à l'observatoire ; pendant une mission qu'il effectuait au Mont Blanc, en août 1906, Deslandres fait forcer les portes de son appartement pour y installer une famille. Heyman écrivait à Doumergue, ministre de l'Instruction publique, en janvier 1908 : « J'ai l'honneur de vous adresser ci-inclus un extrait du procès-verbal de la séance d'installation de M. Deslandres comme directeur-adjoint, à titre de spécimen des traitements odieux infligés au vénérable M. Janssen par son collègue de l'Institut ». Boudenoot écrivait au ministre le 21 février 1908 : » Ce M. Eyman qui est étranger, pas même naturalisé français, occupait à l'observatoire des fonctions inutiles et M.

---

le titre de physicien) et Jean Bosler (aide astronome). (DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Gauthier-Villars, Paris, 1914). Deslandres note à ce moment que « Les astronomes de Meudon sont donc trop peu nombreux pour les recherches à poursuivre ; et leur petit nombre a en plus cet inconvénient de les empêcher d'avancer sur place. Ainsi, les deux aides astronomes, qui sont très méritants, sont en quelque sorte bloqués dans leur position actuelle, et, s'ils restent à Meudon, ne peuvent espérer avant longtemps passer au grade supérieur. De là des réclamations incessantes. » Deslandres réclame également en 1914 la totalité du crédit extraordinaire de 140 000 F accordé en 1912. En 1921, Pérot et d'Azambuja ont conservé les mêmes positions, Burson est alors aide astronome, Bosler est remplacé par Lyot, et Pasteur, pourtant présent depuis longtemps, réapparaît officiellement en tant qu'aide astronome. (DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Gauthier-Villars, Paris, 1921.)

Deslandres, faisant son devoir, l'a congédié lorsqu'il a pris la direction effective il y a dix-huit mois [...] Certains envieux veulent faire passer M. Deslandres comme clérical, pour le desservir auprès du gouvernement de la République. Rien n'est plus faux. M. Deslandres est, comme moi, libre penseur et ne va jamais à l'église que pour les mariages et les enterrements, comme vous et moi probablement ». Dans une lettre anonyme au ministre, datée du 23 mars, on lit : « Dans l'intérêt de l'astronomie française, ne nommez pas M. Deslandres directeur de l'Observatoire de Meudon. Depuis que M. Deslandres est à l'observatoire, il n'a rien produit de sérieux et n'a fait que gaspiller de l'argent sans profit pour la science »[775].
Deslandres prit la direction de l'observatoire le 24 mars 1908, à la suite du décès de Janssen, le 23 décembre précédent. Le 28 septembre 1908, Madame Janssen et sa fille quittèrent leur logement à l'observatoire pour s'installer 19 avenue du Château à Bellevue. Deslandres fit bloquer les voitures de déménagement dans lesquelles se trouvaient un certain nombre d'instruments appartenant personnellement à Janssen, parmi lesquels se trouvaient deux télescopes de 20 et 37 cm d'ouverture respectivement et que Deslandres prétendait être la propriété de l'observatoire. Il fallut une ordonnance du tribunal civil de Versailles pour obliger Deslandres le 23 octobre à laisser s'effectuer le déménagement !

Quoi qu'il en soit, Deslandres devient, à la veille de la première guerre mondiale, une figure importante de l'astronomie française. Académicien en 1902, président de la Société Astronomique de France entre 1907 et 1909, président du Comité national d'Astronomie, président du Bureau des Longitudes, membre de nombreux sociétés (Société Royale et Société astronomique royale de Londres, Académie des Lincei, Académie nationale de Suède, de Washington, …), il sera commandeur de la Légion d'Honneur, et recevra hormis le prix Janssen en 1896, la Gold Medal of the Royal Astronomical Society et la Draper Medal of the National Academy of Sciences en 1913, et la Bruce Gold Medal of the Astronomical Society of the Pacific en 1921. Après la guerre, il est donc naturellement chargé de réaliser l'inspection des observatoires français. Il y établit un tableau assez désastreux de l'astronomie juste après les hostilités, et indique les solutions à apporter pour améliorer la situation des études astronomiques en France.

Fig. 3.1.14: Personnel et matériel des observatoires français en 1922.

[775] L'ensemble des citations précédentes apparaissent dans VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

<u>Source :</u> DESLANDRES, Henri, *Sur l'amélioration des études astronomiques en France*, Imp. H. Tessier, Orléans, 1926, p.49.

Les points relevés par Deslandres dans son rapport de 1926 sont les suivants :

- traitement insuffisant des astronomes, surtout peu en rapport avec la pénibilité du travail de nuit, et en tout cas nettement inférieur à celui assuré au personnel des Facultés : la difficulté du recrutement des astronomes en est une conséquence.
- Manque d'attraction du métier d'astronome chez les élèves de facultés ou de grandes écoles.
- mauvaise répartition des astronomes dans les observatoires, au regard de l'importance prise par l'AP : « comme on l'a remarqué plus haut, les astronomes sont trop nombreux à Paris, alors que tous les autres observatoires se plaignent de l'insuffisance de leur personnel. A Meudon, où le nombre des instruments est au moins aussi grand, le personnel est cinq fois moindre. »[776]
- trop grand nombre des observatoires, notamment au regard de leur position géographique souvent désastreuse pour l'observation : « Sur les onze observatoires de France, un seul, celui de Meudon, maigrement doté en personnel, est consacré à la nouvelle Astronomie ; les dix autres sont attachés à la branche ancienne, et avec des instruments de bonne qualité ; mais la plupart ont dans l'ensemble de faibles ressources en personnel et en matériel, et ne peuvent entreprendre des travaux de grande envergure. »[777]
- vétusté du matériel : Nice et Meudon, par exemple, ont des instruments de bonne qualité optique, mais insuffisantes au niveau de la monture : « lorsqu'elles ont été construites, il y a quarante ans, on ne savait pas faire les grands instruments. »[778]
- faiblesse d'observatoires d'altitude bien placés. Pour Deslandres, l'observatoire du Pic du Midi, difficile d'accès et peu souvent dégagé « ne sera jamais un grand Etablissement d'Astronomie. »[779]

Face à ses problèmes structurels, Deslandres propose les solutions suivantes :

---

[776] DESLANDRES, Henri, *Sur l'amélioration des études astronomiques en France*, Imp. H. Tessier, Orléans, 1926, p.4
[777] *Ibid.*, p.5
[778] *Ibid.*, p.7
[779] *Ibid.*, p.40.

- Donner une indépendance plus grande aux recherches personnelles des astronomes, leur assurer une représentation dans les Conseils, réorganiser la hiérarchie au sein de l'observatoire en séparant plus nettement astronomes et assistants, ceci de façon à attirer les jeunes scientifiques.
- Tendre vers l'organisation américaine, vue comme étant la plus efficace car ayant su trouver vite la bonne répartition quantitative entre astronomes de position et astronomes physiciens : « Il faut nous rapprocher le plus possible de la solution américaine ; il faut donner à la branche nouvelle tout le personnel qui n'est pas strictement indispensable à la branche ancienne, et édifier rapidement des observatoires de montagne munis de grands instruments. »[780] C'est donc à une nouvelle répartition et des observatoires et des astronomes que Deslandres veut arriver.
- Distinguer, comme aux USA, les observatoires de recherche (Nice, Meudon et les observatoires de montagne), nécessitant un emplacement idéal, et observatoires d'enseignement : « Sur les onze observatoires français, huit sont placés tout près d'une faculté, et le directeur est en même temps professeur d'Astronomie. L'emplacement n'a pas été déterminé par des raisons purement astronomiques, et il est parfois très peu favorable. Les Américains ont procédé autrement pour leurs grands observatoires de montagne ; ils ont tenu compte surtout, dans le choix de la station, des qualités du ciel, et les résultats ont été magnifiques. »[781]

Finalement, pour Deslandres, un observatoire d'AP est avant tout un « observatoire de physique orienté vers l'Astronomie »[782], à l'instar des observatoires américains comme Harvard College, Lick et le mont Wilson, présentés « comme des modèles ». On ne peut que voir ici le résultat d'une prise de conscience des astronomes français, qui, en 1910, s'étaient rendus nombreux au Congrès de l'International Union for Cooperation in Solar Researches : se sont déplacés Jean Bosler, Henri Deslandres et Pierre Idrac[783] pour l'observatoire de Meudon, Henri Chrétien pour l'observatoire de Nice, Aimé Cotton pour l'Ecole Normale Supérieure, Charles Fabry pour l'Université de Marseille, Maurice Hamy et Pierre Puiseux

[780] *Ibid.*, p.45.
[781] *Ibid.*, p.47
[782] *Ibid.*, p.46.
[783] Pierre Idrac, chef de travaux à l'Ecole Polytechnique et à l'Ecole des Mines, travailla à Meudon « comme amateur. Il a poursuivi déjà et publié avant la guerre des études intéressantes sur les nébuleuses et les comètes ». Voir DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Gauthier-Villars, Paris, 1921, p.13.

pour l'OP, et le Comte de la Baume Pluvinel à titre personnel. Ce voyage sera pour certains l'occasion de découvrir les méthodes américaines. Ainsi de la Baume Pluvinel qui donnera, les 31 mars et 7 avril 1911 à l'observatoire de la Société Astronomique de France, une conférence intitulée « Une visite aux observatoires des Etats-Unis » ; ou Bosler, qui rédigera un article de synthèse sur les observatoires américains dans la *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* , y distillant plusieurs critiques vis à vis de la pratique de l'astronomie en France : « nous, Français, nés fonctionnaires et qui nous croyons sans rivaux en fait d'administration, nous aurions certainement là-bas beaucoup à apprendre au point de vue pratique. »[784] Ou encore : « Que de fortunes s'en vont tous les ans à l'Etat s'émietter sans profit pour personne dans un budget de plus de 4 milliards, qui, léguées par testament à un de nos grands établissements, feraient revivre leurs fondateurs et accompliraient peut être encore de grandes choses ! »[785] De même, Henri Chrétien, après avoir débuté à Meudon, passera trois ans à parcourir les observatoires du monde entier de 1908 à 1910, y compris aux Etats-Unis, avant de rejoindre l'observatoire de Nice puis de fonder l'Institut d'Optique au début des années 1920. On peut donc dire assurément que le Congrès américain de 1910, organisé par Hale, représente un moment fort pour les astronomes physiciens français, en ce qui concerne le regard qu'ils vont poser sur leur discipline, et la diffusion de ce regard auprès des amateurs et des autres scientifiques.

On peut alors se poser la question de la place prise par Deslandres lors de ce Congrès de 1910. Puiseux écrit à sa femme que « M. Deslandres fait une communication longue, précipitée, où il reprend l'histoire de ses travaux depuis 17 ans, dans un anglais que les Américains comprennent peu ou pas du tout. II est écouté avec une impatience assez peu dissimulée et plusieurs déploient des journaux ». Deslandres semble visiblement en dehors d'un groupe international formé au fur et à mesure des congrès, ce rendez-vous devenant, comme le note Puiseux un congrès d'astrophysique non limité aux questions solaires : « II est décidé dans la séance de l'après-midi (2 h) que l'Union aura désormais pour objet non seulement les recherches solaires, mais toute l'astrophysique. Cela mettra à l'aise plusieurs savants qui avaient pris l'habitude de ces réunions sans avoir publié de travaux bien spéciaux sur le soleil. » Deslandres, dans la lettre qu'il écrit à Campbell avant de rejoindre la France, se livre et donne ses impressions. Pour lui, Hale mène un groupe résolument discipliné. Ce « struggle for life […] emploie tous les moyens. Il est extrêmement habile, ayant les qualités d'un

---

[784] BOSLER, Jean, «Les récents progrès des méthodes astrophysiques aux Etats-Unis», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.22, 1911, p.103.
[785] *Ibid.*, p.113.

homme politique et d'un savant, mais surtout les qualités d'un homme politique. Sur le terrain scientifique, il a fait de grandes découvertes mais, en général, il les interprète mal ; tous ses appareils sont fort compliqués. Il a organisé très habilement le congrès solaire, avec un petit groupe compact de la Société astronomique de Londres, avec des gens qui ont des intérêts communs, mais qui lui sont inférieurs ; ce qui lui assure la suprématie »[786]. Cette relation délicate entre Hale et Deslandres n'offre ainsi pas les meilleurs disponibilités à Deslandres pour publier dans l'*Astrophysical Journal*, la revue qui s'est imposée comme la revue internationale majeure en astrophysique. Hale répond ainsi à Deslandres en 1906 : « M. Deslandres se plaint (dans le *Bulletin Astronomique*) que ses articles n'ont pas été publiés dans l'*Astrophysical Journal*. Il est le seul responsable pour cela, car les directeurs n'ont jamais eu la faveur de ses manuscrits ni n'ont été informés du désir d'une telle publication. »[787] De même, en France, le physicien Armand de Gramont, l'un des fondateurs avec Chrétien et Fabry de l'Institut d'Optique théorique et appliquée, écrivait à Hale en avril 1909 : « Pauvre Deslandres ! Malgré toutes ces bonnes intentions, il aura toujours six mois de retard derrière vous ! »[788]

En conclusion, on peut rapprocher ces problèmes de l'analyse que Dominique Pestre fait du milieu physicien français au début du XX^{ème} siècle fonctionne pleinement si l'on considère l'état de la recherche en AP : on y trouve essentiellement des « individualités brillantes entourées de quelques élèves et vivant dans un cercle, un club de savants qui ne sont pas des amateurs sans être pour autant des directeurs d'équipes spécialisées. [La recherche] reste prise dans des formes archaïques et éclatées qui continuent de privilégier l'œuvre individuelle comme règle de réussite.»[789] Entre respect du travail individuel, comme le souhaite Deslandres en 1921, et recherche bâtie autour d'une communauté, l'AP reste finalement du côté du maître organisant son univers de façon autoritaire, et acceptant peu la constitution d'une équipe de recherche. Les rappels historiques incessants permettent à Deslandres

---

[786] *Lettre de Henri Deslandres à William Campbell le 28 septembre 1910*, Bibliothèque du Lick Observatory. Voir texte entier en annexe. On peut envisager la confiance que Deslandres et Campbell pouvaient se vouer lorsque l'on sait que Hale et Campbell s'étaient 'affrontés' à la recherche de crédits auprès de la fondation Carnegie. Campbell fut le grand perdant : il dut installer sa station du Chili sans l'aide de cette fondation. Voir LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940», *Physics Today*, 49, 1996, p.34-41.

[787] HALE, George Ellery, «Reply to recent statements by M. Deslandres», *The Astrophysical Journal*, vol.23, 1906, p.93.

[788] Cité in WRIGHT, Helen, *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966, p.257.

[789] PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992, p.235.

notamment de « marquer les filiations », de « marquer la pérennité française »[790] évitant une « science mouvante, heuristiquement plus riche, initiant au doute mais malheureusement incertaine. »[791], science mouvante que Cornu a effectivement fui, lui qui rêvait d'ordre et de clarté plus que d'une science neuve.

L'AP, dans cet ordre d'idées, doit s'inscrire dans le socle des expériences de Fresnel, de Fizeau, et poursuivre la construction d'un échafaudage théorique basé sur la généralisation de faits d'expériences, l'induction de lois empiriques, la perfection instrumentale, la recherche de la précision et l'élimination des erreurs, celles-ci étant vues comme un obstacle à la beauté instrumentale. La scission entre physique mathématique et physique expérimentale qui caractérise la communauté physicienne française, ajoute un autre problème au diagnostic de Deslandres : en plus de facteurs organisationnels, révélant le peu de personnel impliqué dans l'AP, il faut considérer comme important la faible diffusion d'idées théoriques nouvelles concernant la thermodynamique ou la structure de la matière. Nicole Chezeau, à propos de la naissance de la métallurgie physique à cette époque même, écrit ainsi que « C'est la jonction entre la science universitaire et les résultats expérimentaux des métallurgistes issus de l'industrie dans la période qui va de 1890 à 1914, qui marque la naissance de la métallurgie physique »[792]. Ainsi, nous pouvons poser comme spécificité de l'AP française un manque de lien entre théoriciens et expérimentalistes. L'observatoire de Meudon apparaît donc comme le lieu d'une science « éclatée » car lieu de pouvoir convoité. Science « éclatée » par la multiplicité des acteurs (entre amateurs ou scientifiques marginaux comme Baume Pluvinel, Nodon, d'Azambuja et scientifiques reconnus par l'institution comme Deslandres, Bosler ou Pérot), par la diversité des sujets de recherche donnant peu lieu à des études systématiques, par l'individualisme obstruant la voie vers la constitution d'équipes de recherche. Le fondateur de Meudon devient alors une figure emblématique, presque légendaire, tandis qu'un groupe, à forte représentativité polytechnicienne, y pratiquera une science expérimentale et inductive, science dont l'horizon cosmogonique, qui affleure, révèle une préoccupation de l'époque qu'il nous faut appréhender.

---

[790] *Ibid.*, p.191.
[791] *Ibid.*, p.199.
[792] CHEZEAU, Nicole, *De la forge au laboratoire. Naissance de la métallurgie physique (1860-1914)*, Presses Universitaires de Rennes, 2004, p.58.

3.2 L'Astronomie Physique hybride de Deslandres

Nous avons vu jusqu'à maintenant que les études d'astronomie physique en France ont consisté en des travaux spectroscopiques et photographiques, le Soleil ayant constitué un sujet privilégié. Il apparaît cependant à la fin du XIX^{e} siècle un autre mode de raisonnement qui va prendre plus largement en considération les études de laboratoire, notamment en intégrant les découvertes récentes faites dans le domaine des rayonnements, ou encore en récupérant les idées cartésiennes sur les tourbillons. Nous montrerons ainsi en quoi les réflexions cosmogoniques au cours du XIX^{e} siècle ont pu influer sur l'astronomie physique française, et comment Deslandres, personnage incarnant de plus en plus la discipline aux yeux des savants français et inséré dans une culture scientifique que nous nous attachons à décrire, a pu s'inspirer de travaux contemporains en physique pour inférer, sur un mode analogique, des idées sur le fonctionnement du Soleil, puis des étoiles. Ainsi, c'est vers une approche hybride entre l'héritage métrologique de Cornu et les recherches d'imagerie solaire de Janssen que Deslandres va se diriger.

3.2.1. Les tourbillons, ou l'Univers expliqué au laboratoire

C'est en 1900 que le physicien Henri Bénard publie ses premiers articles sur les tourbillons cellulaires. Admis à l'Ecole Normale Supérieure en 1894, dans la même promotion que Paul Langevin, il commence à travailler avec Eleuthère Mascart, alors professeur de physique expérimentale au Collège de France, sur la polarisation de solutions sucrées. Il devient ensuite l'assistant de Marcel Brillouin[793] au Collège de France, qui l'amène, pour ses cours de mécanique des fluides, à reprendre les expériences de Poiseuille sur la viscosité des fluides[794].

[793] Brillouin est à cette époque l'un des représentants de la physique mathématique, c'est-à-dire de la convergence de la physique expérimentale avec les mathématiques.
[794] D'après AUBIN, David, «Seeing structure, structuring sight : Bénard's cell and the Visualization of Self-Organisation», *Document de travail préparé pour le séminaire «New Paths of Physical Knowledge», Berlin, 11-14 Novembre 2004*.

En même temps, il mène des recherches sur le comportement de nappes liquides chauffées par leur partie inférieure. Il photographie ainsi les formes obtenues, révélant les courants de convection qui animent ces liquides. Ses recherches constituent, de par leur caractère difficilement mathématisable, un travail pionnier comme il le note lui-même :

> Il existe toute une catégorie de mouvements des fluides restés jusqu'ici presque inabordables par le calcul : ce sont ceux qui nécessitent l'introduction des termes de viscosité dans les équations différentielles de l'Hydrodynamique, et qui, de plus, mettent en jeu des différences finies de température. Les équations du mouvement de la chaleur dans les fluides non parfaits sont connues, mais n'ont pu, en aucun cas, être triatées dans toute leur complexité.
> Les courants de convection ne semblent guère, non plus, avoir tenté les physiciens, peut-être précisément à cause de l'absence de toute théorie – et, cependant, personne ne met en doute l'importance capitale qu'ils présentent dans un grand nombre de phénomènes naturels ; les seules tentatives faites pour les coordonner se rattachent, d'ailleurs, à la circulation atmosphérique.[…]
> Dans une matière aussi neuve, les méthodes purement physiques, en particulier les méthodes si précises de l'Optique, m'ont fourni des modes précieux d'observation et d'enregistrement.[795]

Bénard utilise pour ses recherches deux méthodes pour visualiser les mouvements du liquide : la première est une méthode mécanique, où l'insertion de particules solides rend visible les courants convectifs ; la seconde est une méthode interférométrique, où l'obtention de franges d'interférence en lumière monochromatique permet d'étudier les différences de niveau d'une surface réfléchissante qui n'est pas rigoureusement plane. Bénard note ainsi que « les méthodes optiques sont plus commodes et permettent d'opérer avec des liquides purs non souillés de particules solides. Elles ont seules été employées pour les déterminations numériques »[796]. Il réinvestit ainsi la méthode utilisée cinquante ans plus tôt par Foucault, avec « l'appareil bien connu de Fizeau », méthode aussi employée par Cornu dans les années 1860 pour l'étude de la déformation élastique des solides. Bénard cherche ainsi à rendre visible des mouvements de matière, à l'instar des travaux contemporains d'Etienne-Jules Marey, dont il se revendique d'ailleurs : les particules solides, matérialisant les flux de matière, apparaîtront noires sur fond lumineux, ou l'inverse. Et comme Marey, Bénard utilise un procédé chronophotographique permettant l'enregistrement dynamique du phénomène.

---

[795] BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1261.
[796] *Ibid.*, p.1313.

<u>Fig. 3.2.1</u>. : Méthodes mécaniques et optiques utilisées par Bénard pour l'étude des tourbillons cellulaires.
<u>Source :</u> BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1264 et 1316.

Par son procédé, Bénard vient à découvrir des formes géométriques particulières, des cellules prenant notamment des formes hexagonales : « La nappe liquide entière est donc divisée en prismes verticaux à base polygonale, ayant pour axes les droites d'intersection des différents systèmes de plans verticaux concourants qui contiennent les trajectoires planes. On voit que cette structure est la structure cellulaire régulière. J'appellerai désormais *cellule* le volume limité par un de ces prismes verticaux»[797]. Bénard explique alors la formation de ces cellules :

> On voit le sens de la circulation : le liquide chaud s'élève dans la partie voisine de l'axe de la cellule, se refroidit sur les portions des trajectoires voisines de la surface libre, où le mouvement est centrifuge, puis descend brusquement le long de la *cloison* latérale sans rotation, enfin revient vers le centre par les filets centripètes voisins de la paroi du fond, puis remonte de nouveau, et ainsi de suite. Dans chaque azimut, il y a un point de vitesse linéaire nulle, que tous les filets enveloppent. Le lieu de ces points dans la cellule entière est une courbe ayant la forme d'un polygone à sommets arrondis, qui suit le contour de la paroi latérale sans rotation en s'en approchant de très près. C'est la *ligne tourbillon* fondamentale, autour de laquelle tournent les filets.

<u>Fig. 3.2.2</u>. : Projection horizontale et formes des filets liquides dans une cellule.
<u>Source :</u> BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1266.

Les photographies obtenues donnent accès aux figures engendrées par les mouvements convectifs :

<u>Fig. 3.2.3</u>. : Photographies des surfaces libres des cellules.
<u>Source :</u> BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1318.

---

[797] BENARD, Henri, *op.cit.*, p.1266.

Bénard est alors en mesure de réaliser un certain nombre de résultats numériques, censés aboutir à des lois empiriques sûres :

- mesures d'ordre géométrique : épaisseur, relief de la surface libre, dimensions superficielles des cellules.
- mesures d'ordre cinématique : mesures de périodes à l'aide d'un chronomètre.
- mesures d'ordre dynamique et thermique : flux de chaleur, températures.

Finalement, Bénard, après une série de lois numériques comprenant les paramètres ci-dessus, conclut en soulignant l'importance des formes mises en évidence : « Sous l'action des seules forces moléculaires ordinaires et de la gravitation, une nappe liquide mince, *primitivement homogène*, mais non identiques, peut se diviser en individus liquides, tous égaux, limités par des prismes hexagonaux réguliers. »[798] Ceci l'amène par identité de formes à montrer l'intérêt de ses recherches dans la connaissance des êtres organisés et la compréhension de phénomènes du vivant :

> On s'accorde à regarder la partie essentiellement vivante des êtres organisés comme formée aux dépens des liquides ou semi-liquides très complexes, qui ne peuvent, en général, subsister à l'état de masses indivises d'une étendue considérable. Quelque odée qu'on se fasse de cette complexité, la division en cellules reste le fait fondamental. […] D'ailleurs, l'assemblage d'hexagones réguliers est tellement répandu dans les formes des êtres organisés […] qu'il correspond évidemment à une loi de stabilité générale. […] il faut bien nous habituer de plus en plus à regarder les phénomènes biologiques, si complexes soient-ils, comme résultant simplement du jeu de forces identiques au fond à celles dont nous étudions les effets dans les phénomènes physiques et chimiques.[799]

Les travaux de Bénard vont faire des émules en France. C'est le cas de G. Cartaud, qui en 1901 fait remarquer l'analogie de formes entre la structure cellulaire de métaux fondus et refroidis brusquement avec les cellules de Bénard : « L'aspect des cellules rappelle à beaucoup d'égards celui des tourbillons cellulaires observés par M. Bénard dans les nappes liquides. […] La solidification brusque permet de, en effet, de surprendre les cellules dans leurs phases de croissance et de prendre sur le fait les phénomènes de scissiparité que M. Bénard a pu suivre d'une manière continue dans les liquides »[800].

---

[798] *Ibid.*, p.1328.
[799] *Ibid.*
[800] CARTAUD, G., « Sur la structure cellulaire de quelques métaux », *CRAS*, t.132, 1901, p.1328.

Camille Dauzère s'intéressera également beaucoup à la structure cellulaire. Après une licence de mathématiques en 1902 puis une licence de physique en 1893 à la faculté des sciences de Toulouse, il est préparateur de physique à cette même faculté en 1898 et 1899, et devient professeur de physique au lycée de Tournon puis au lycée d'Agen. Agrégé de sciences physiques en 1901, il devient en 1920, à presque cinquante ans, directeur de l'observatoire du Pic du Midi. En 1919, il soutient une thèse de doctorat sur la solidification cellulaire, phénomènes qu'il étudie depuis 1907. En effet, Dauzère commence cette année-là à s'intéresser aux apparences observées à la surface de cire d'abeille préalablement fondue. Il s'inspire des travaux de Bénard, tant au niveau des résultats que des méthodes utilisées :

> L'échauffement d'un liquide s'effectue généralement par des courants de convection, produits par l'action de la source de chaleur placée sous le vase qui contient le liquide. Lorsque le liquide a la forme d'une couche horizontale de grande surface et de faible épaisseur, ces courants divisent la nappe en cellules prismatiques qui tendent à donner un réseau hexagonal régulier, lorsqu'il y a uniformité parfaite des conditions physiques dans un plan horizontal. Ce phénomène a été découvert et étudié par M. H. Bénard qui a indiqué les méthodes expérimentales permettant de déceler la division cellulaire invisible à l'œil nu, et établi les lois quantitatives suivant lesquelles varient les dimensions des cellules.
> J'ai eu l'idée de rechercher quel est le rôle de ces courants de convection et de cette division cellulaire dans la fusion et la solidification. J'ai opéré avec des matières organiques facilement fusibles, que M. Bénard signales comme étant les plus propres à l'observation des phénomènes […][801].

<u>Fig. 3.2.4</u>. : Tourbillons cellulaires observés à la surface de cire d'abeille fondue, en fonction de la température.
<u>Source :</u> DAUZERE, C., « Les tourbillons cellulaires isolés », *Comptes Rendus de l'AFAS*, p.1912, p.127.

Ainsi, Dauzère reprend les recherches sur les tourbillons initiées par Bénard, avec la conviction que ces phénomènes apportent des renseignements sur la formation de structures physique, chimiques ou géologiques. De même, Bénard va à son tour reprendre les travaux de Dauzère pour inférer des idées sur la formation des cirques lunaires : on observe donc une

[801] DAUZERE, C., « Division cellulaire des liquides et des solides », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.289. Les travaux de Dauzère sur les tourbillons cellulaires concernent également les articles suivants : « Formation des cristaux », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1909, p.257-263 ; « La division cellulaire des bains de développement », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1910, p.179-185 ; « Les tourbillons cellulaires isolés », *Comptes Rendus de l'AFAS*, p.1912, p.123-128 ; « Sur les changements qu'éprouvent les tourbillons cellulaires lorsque la température s'élève », *CRAS*, t.155, 1912, p.394-398.

série d'allers-retours, d'échanges entre physiciens, pour qui la division cellulaire de la matière, révélée par les tourbillons, constitue un outil heuristique fort, permettant des inférences en géologie ou en astronomie. Nous allons voir que Deslandres va s'intéresser à ces recherches, pour les appliquer au domaine de l'AP. En effet, après la cire d'abeille, Dauzère s'intéresse également aux tourbillons obtenus dans des bains de développement photographique ; il écrit à cette occasion qu' » Il est intéressant de rapprocher [les cellules obtenues à la surface libre des liquides] des recherches récentes de M. Deslandres sur les tourbillons cellulaires qu'il a découverts dans le Soleil. Dans ces tourbillons cellulaires, le sens du mouvement est identique à celui de nos expériences actuelles et inverse de celui des cellules de M. Bénard »[802].

Ainsi, c'est Deslandres qui, académicien depuis 1902, a présenté systématiquement les notes de Dauzère et de Bénard au sujet des tourbillons cellulaires, appliqués à l'AP. Deslandres ira même jusqu'à accueillir Bénard à Meudon pour lui donner la possibilité de poursuivre ses recherches d'hydrodynamique, preuve de l'intérêt qu'il portait à ses travaux[803]. Et c'est ainsi qu'à partir de 1908, Deslandres va commencer à publier des notes se référant explicitement au phénomène des tourbillons[804]. Et en 1910, alors que paraît le tome IV des *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris sis à Meudon*, premier tome paraissant après la mort de Janssen et sous la direction exclusive de Deslandres[805], celui-ci consacre le dernier des six chapitres aux « Tourbillons cellulaires et filaments polaires », comme si les tourbillons cellulaires apportaient un cadre explicatif aux nombreuses images apportées par les spectrohéliographes et spectroenregistreurs. L'année 1908 représente pour Deslandres un nouveau départ, non seulement par son statut de directeur de l'observatoire fraîchement obtenu, mais aussi parce que son rival américain, Hale, a débuté de son côté des recherches sur les « solar vortices », à savoir les tourbillons solaires[806] : il s'agit donc de se distinguer sur

---

[802] DAUZERE, C., « La division cellulaire des bains de développement », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1910, p.181.

[803] A l'occasion de la répartition du fonds Bonaparte en 1914, dont bénéficie Bénard, il est écrit dans les *CRAS* : « 4000^{fr} à M. Bénard pour lui permettre de reprendre, sur une très grande échelle, ses recherches d'Hydrodynamique expérimentale. Notre confrère, M. Deslandres, a bien voulu mettre à disposition de M. Bénard, pour ses expériences, la grande pièce d'eau de Meudon. in « Rapport de la Commission chargée de proposer pour l'année 1914 la répartition du fonds Bonaparte. », *CRAS*, t.159, p.946.

[804] DESLANDRES, Henri, « Grands alignements et tourbillons de l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.147, 1908, p.467-474 ; « Mouvements de l'atmosphère solaire supérieure au-dessus et autour des facules. Tourbillons cellulaires du Soleil », *CRAS*, t.134, 1902, p.1486-1489.

[805] DESLANDRES, Henri, Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV, Gauthie-Villars, Paris, 1910.

[806] Helen Wright rapporte, par le biais d'une lettre écrite par Hale à sa femme, qu'en 1909, lors d'un dîner à Paris donné par le Baron Rotschild à l'occasion de la venue de Hale, Deslandres se serait vanté d'avoir mené des

le plan international notamment en mettant en avant l'originalité et l'exclusivité de son spectroenregistreur des vitesses, uniquement employé en France, à Meudon :

> L'utilité des spectro-enregistreurs des vitesses ressort nettement de cette étude ; elle avait déjà été signalée en 1891 et 1893 comme au moins égale à celle des spectro-héliographes. La reconnaissance des mouvements est plus nécessaire que celle des formes exactes dans la recherche de la vraie nature du phénomène. J'ai dû seulement attendre, pour l'organiser sérieusement, d'être mis à la tête d'un Observatoire.[807]

Sur le nouveau conflit qui l'oppose à Hale, Deslandres répond en situant le problème sur un plan lexical : il rejette le terme « solar vortices » employé par Hale pour son sujet d'études, c'est-à-dire que ses images et ses mesures ne traitent pas du même phénomène. Il prend alors comme caution la signification employée par Helmholtz dans ses travaux sur les mouvements tourbillonnaires. Et là où Hale analyse un phénomène localisé autour des taches solaires, lui-même s'est penché sur un phénomène permanent et étendu à la surface solaire: Deslandres avance comme preuve qu'il n'a pas observé autour des taches de signes récurrents d'une rotation, accompagnant normalement le tourbillon évoqué par Hale :

> […] les images nombreuses de l'hydrogène, faites à Meudon cette année avec l'aide de D'Azambuja et qui sont plus pures que les images américaines, ne montrent pas en général les caractères du cyclone défini ci-dessus ; les détails de ces images autour des taches donnent seulement l'impression d'un liquide mobile près d'un trou.
>
> En fait, dans l'atmosphère terrestre, le phénomène principal est constitué par l'union d'un cyclone et d'un anticyclone, et surtout par les deux mouvements horizontaux et les deux mouvements verticaux qui sont de sens contraires. Ces quatre mouvements sont inséparables et forment le courant normal de convection que la nature emploie partout pour égaliser les températures. L'ensemble de ces courants réunis autour d'un point plus ou moins central forme le tourbillon complet, qualifié souvent de cellulaire parce que tous les tourbillons d'une masse fluide y sont juxtaposés comme les cellules d'une ruche.[808]

Deslandres se détache ainsi nettement des recherches américaines : il ne s'agit pas d'observer un phénomène isolé sur la surface solaire, mais plutôt le réseau de tourbillons cellulaires déjà

---

recherches plus approfondies que Hale sur les flocculi de l'hydrogène. Ce à quoi le physicien français De Gramont aurait répondu à Hale en aparté : « Pauvre Deslandres ! Malgré toute sa bonne volonté, il est toujours six mois derrière vous ! », cité in WRIGHT, Helen, *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966, p.256-257.

[807] DESLANDRES, Henri, « Mouvements de l'atmosphère solaire supérieure au-dessus et autour des facules. Tourbillons cellulaires du Soleil », *CRAS*, t.149, 1909, p. 499.

[808] *Ibid.*, p.498.

mis en évidence et quantifié par Bénard. Deslandres cadre donc ses idées avec les recherches de laboratoire de Bénard, un savant français :

> Ce réseau spécial d'anticyclones est aussi en accord et même en accord plus grand avec les expériences de H. Bénard sur les courants de convection qui s'établissent dans une nappe liquide mince chauffée uniformément par le bas. Ce travail, remarquable à beaucoup d'égards, est le premier qui étudie, et par la voie expérimentale seule, la répartition des courants de convection dans un liquide dont les dimensions sont grandes par rapport à celles des courants, de telle sorte que l'influence des parois est négligeable. Or les courants forment des cellules polygonales juxtaposées, chaque cellule étant un courant de convection complexe, tout semblable à la réunion d'un cyclone et d'un anticyclone[809].

Deslandres reproduit alors certaines figures et photographies des mémoires de Bénard de 1900, pour rapprocher ses propres images et inférer, sur un mode analogique, des idées sur les mécanismes solaires :

> La structure de ces couches solaires, qui jusqu'ici a paru mystérieuse, serait alors très simple, et régie par les lois connues qui s'appliquent aux fluides chauffés par le bas. Le liquide de Bénard, l'atmosphère terrestre et l'atmosphère solaire ont à cet égard des points communs évidents et les mouvements généraux dans les trois cas paraissent y être les mêmes […][810]

Fig. 3.2.5. : Identification des tourbillons cellulaires dans l'atmosphère solaire
Source : DESLANDRES, Henri, *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise,* tome IV, Gauthie-Villars, Paris, 1910, p.124 et planche 29.

Fig. 3.2.6. : Enregistrement des vitesses radiales des vapeurs de l'atmosphère solaire
Source : DESLANDRES, Henri, *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise,* tome IV, Gauthie-Villars, Paris, 1910, planches 44, 46 et 48.

---

[809] DESLANDRES, Henri, Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV, Gauthie-Villars, Paris, 1910, p.119.
[810] *Ibid.*, p.121.

Les figures 3.2.5 et 3.2.6 montrent la démarche de Deslandres. L'obtention d'images monochromatiques, par exemple la raie K du calcium ou une composante K1, K2 ou K3, permet de situer le niveau de la couche de vapeurs. Deslandres observe puis localise les apparences type 'ruches d'abeille' désignant les tourbillons cellulaires de Bénard. D'après les expériences de celui-ci, Deslandres postule qu'aux frontières de deux tourbillons cellulaires voisins, les mouvements sont verticaux et ascendants, mais de sens inverse au centre. Le réseau chromosphérique ainsi visualisé est donc pour lui un indice de la segmentation de la masse fluide en tourbillons cellulaires à grande échelle (ce qui est effectivement très différent du sens donné par Hale aux « solar vortices », c'est-à-dire des figures liées uniquement aux taches). Les taches et les facules forment alors les parties centrales des cellules les plus persistantes. Le rapprochement est étayé par des mesures de vitesses radiales, que montre la figure 3.2.6 : le spectro-enregistreur des vitesses, que seul Meudon possède, permet la mesure des vitesses verticales, de façon à constater les mouvements ascendants ou descendants des vapeurs.

En définitive, Deslandres a su, à nouveau, enraciner ses recherches sur le sol français : les travaux de Bénard lui permettent de se distinguer des travaux étrangers. Ce trait dans sa démarche se retrouve à plusieurs reprises, notamment pour la mesure du champ magnétique solaire par l'effet Zeeman qu'il cautionnera par les travaux d'un certain Dufour, à un moment où Hale investissait ce nouveau domaine. Malheureusement, Deslandres manque de moyens, ce qu'il répète inlassablement dans ses articles. Il est contraint de limiter les portions solaires étudiées et d'impliquer le milieu amateur par le biais de la SAF ; il devient président de la commission solaire pour laquelle il rédige, à la destination des presque « » 3 000 membres » de la société des instructions pour l'observation de Soleil : « Comme, en toutes choses, l'union fait la force, la Commission solaire cherche à grouper ces bonnes volontés isolées, et à les orienter vers un but commun, éminemment digne d'intérêt, de manière à tirer d'elles l'effet utile maximum »[811]. Mais à Meudon, le manque de personnel et l'absence de bureau de mesures limitent la pertinence de ses recherches :

> Le relevé précis des déplacements est à tous égards nécessaire, mais malheureusement il représente un travail considérable. Chaque épreuve a 140 sections, et toutes ces sections mises bout à bout ont une longueur totale de 18^{m} . Si l'on admet une mesure par millimètre, on adonc 18 000 mesures, et comme chaque mesure

[811] DESLANDRES, Henri, « Instructions sur l'observation du Soleil par la Commission solaire », *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.420.

comporte deux pointés (sans compter les pointés sur le spectre de comparaison), le nombre total des points relevés s'élève à 36 000, et dépasse ce chiffre si, comme souvent, on fait plus d'une mesure par millimètre.

Un pareil travail dépasse les forces de l'Observatoire qui, déjà, a un personnel trop restreint pour les observations courantes ; il y faudrait un bureau de mesures analogue à celui du Mont Wilson ou à celui de la Carte du Ciel. Dans ces conditions, j'ai dû diminuer encore le travail projeté et poursuivre les mesures au centre du Soleil seulement, dans la partie de l'astre où l'interprétation des résultats est facile et sûre.[812]

Et l'on constate, pour conclure, que Deslandres annonce un certain nombre de résultats à la fin des Annales de 1910 sur les tourbillons cellulaires avec la réserve habituelle qui accompagne l'émission d'hypothèses, comme s'il hésitait à franchir un pas qui lui ferait franchir la frontière entre expérimentation et spéculation : « cette étude de deux années sur le Soleil a révélé [plusieurs faits] qui sont nouveaux et qu'il importe de bien dégager de toute interprétation et de toute hypothèse ». Les tourbillons solaires ne peuvent, tout au plus, que donner un cadre à l'observation, une grille de lecture permettant justement, comme nous le développerons plus tard, de rendre lisible ce qui a été au préalable rendu visible : « L'assimilation avec les tourbillons cellulaires n'est pas, comme les autres propriétés énumérées ci-dessus, un fait absolument acquis ; je l'ai introduite dans ce résumé consacré surtout aux faits, parce qu'elle permet de les relier entre eux »[813].

Ces précautions ne seront pas partagées par Emile Belot. Polytechnicien de formation, il devient en 1907 directeur de la Manufacture des Tabacs du Havre. Sur le plan astronomique, il a donné à la SAF un cours de cosmogonie, qu'il poursuivra, d'après Philippe Véron dans son *Dictionnaire des Astronomes*, à la Sorbonne entre 1912 et 1914. Il a également été membre de l'Union Astronomique Internationale à partir de 1932.

Belot propose, dès 1908, une théorie cosmogonique qui représente, depuis Faye, la première tentative (française) d'explication du système solaire et de l'Univers. Il affinera sa théorie pendant plus de deux décennies, son dernier ouvrage datant de 1932[814], et rédigeant également un grand nombre d'articles dans les *CRAS* notamment (nous avons comptabilisé 33 notes

---

[812] DESLANDRES, Henri, Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV, Gauthie-Villars, Paris, 1910, p.95.

[813] *Ibid.*, p.137-138.

[814] BELOT, Emile, « Essai de cosmogonie tourbillonnaire », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.55-70 ; « Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.121,1910, p.642-652 ; *L'origine dualiste des mondes, Essai de cosmogonie tourbillonnaire*, Gauthier-Villars, Paris, 1911 ; *L'origine des formes de la terre et des planètes ;* Gauthier-Villars, Paris, 1918 ; *L'origine dualiste des mondes et la structure de notre univers*, Payot, Paris,1924 ; *La naissance de la Terre et de ses satellites. Leur évolution cosmique*, Gauthier-Villars, Paris, 1931 ; *Enseignement de la cosmogonie moderne*, Bloud et Gay, Paris, 1932.

entre 1905 et 1925). Belot a échafaudé une théorie mécaniste de l'Univers, une cosmogonie qu'il appellera dualiste, tourbillonnaire où, à l'instar de Faye quelque vingt-cinq ans plus tôt, il va faire revivre l'héritage de Descartes :

> Il fallait non un théoricien, mais un ingénieur initié par sa technique à l'art de choisir la mécanique qui convient à chaque matière pour discerner le moule mécanique où le Créateur avait, à l'origine, jeté la matière cosmique et pour restituer les rouages primitifs, en partie détruits par le temps, de la grande machine des Mondes.
>
> Mais il appartenait à un ingénieur français d'édifier le premier chapitre d'une nouvelle mécanique céleste où revivra l'idée tourbillonnaire de notre grand Descartes dans sa patrie d'où elle avait été injustement bannie par Newton.[815]

Sa théorie repose sur une vision unitaire : pouvoir expliquer aussi bien l'atome que le cosmos par les mêmes lois mécaniques. Belot écrit en 1924 qu' « Il faut considérer le problème cosmogonique dans son ensemble et savoir reconnaître l'unité de plan de la création cosmique. Si cette unité existe, un système planétaire, une nébuleuse spirale, un amas d'étoiles, une Nova sont des cas particuliers d'un même mécanisme originel, et doivent, par suite, concourir à le faire connaître. »[816] L'unité ainsi évoquée par Belot recouvre l'unité chimique (prouvée par le spectroscope), l'unité des forces physiques (Belot entend notamment les radiations), l'unité géométrique des astres observés. Sa pensée est donc fortement influencées par les découvertes de la fin du XIX^{e} siècle : analyse spectrale, afflux de photographies de plus en plus précises des divers objets du bestiaire céleste (les nébuleuses notamment dont l'interprétation reste difficile), découverte de nouveaux rayonnements permettant l'irruption de nouvelles images et de nouveaux phénomènes de laboratoire. Bien évidemment, cette vision de l'unité présuppose que les phénomènes de laboratoire et les phénomènes répondent des mêmes mécanismes : « Nous voici donc affranchis du monopole explicatif de la loi de Newton. Il en résulte cette conséquence capitale : c'est que la mécanique céleste des origines n'est autre que la Mécanique et la Physique ordinaires telles qu'on peut les appliquer à des masses fluides et les expérimenter dans les laboratoires, ce qui va permettre de matérialiser en quelque sorte les explications des phénomènes cosmogoniques »[817]. La méthode de Belot est la suivante : observations, inductions, recours à l'analogie, inférences à partir d'expériences de laboratoire. Les titres de certaines de ses

---

[815] BELOT, Emile, *L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers*, Payot, Paris,1924, p.43.
[816] *Ibid.*, p.19
[817] *Ibid.*, p.26.

communications sont éloquents : « Sur la formation des cirques lunaires avec reproduction expérimentale », « Expérience reproduisant les spires des nébuleuses spirales », ou encore « Les volcans expérimentaux et les lois de la volcanicité ». Et ainsi, Belot évoque un dernier aspect de l'unité : l'unité de plan génétique, qui est la même pour tous les règnes de la nature, cosmique, animale, etc. Cette unité de plan génétique impose comme origine de toute entité un dualisme, que nous allons tenter d'expliciter en détaillant les moyens que Belot se donne. Pour lui, deux termes sont à l'origine de notre système solaire : un nuage cosmique et un tube-tourbillon gazeux. Les deux sont doués de translation, et de rotation pour le tube-tourbillon : leur choc produit alors un renflement (à l'origine de l'étalement de la matière sur le plan de l'écliptique) et une vibration : Belot postule que le tube-tourbillon, sous l'effet de cette vibration, s'est divisé en ventres et en nœuds (selon les expériences du D^{r} Emden). Les ventres de vibration donneront ensuite naissance à autant de nappes, que Belot nomme « nappes planétaires » : ce sont de ces nappes que naîtront les planètes.

Fig. 3.2.7. : Jets de gaz et nappes planétaires.
Source : BELOT, Emile, « Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie », Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées, t.121,1910, p.644 ; *L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers*, Payot, Paris, 1924, p.31.

Finalement, les idées de Belot convergent vers une idée : démontrer que, si aujourd'hui l'attraction newtonnienne est la force prédominante des phénomènes célestes, cela ne fut pas le cas à l'origine des mondes. Pour lui, et à l'instar de la « forêt » invoquée par Herschel, l'observation astronomique permet d'assister à la naissance et à la mort de mondes célestes, c'est-à-dire d'assister à la période originelle de ces mondes, « période tourbillonnaire ou cartésienne, où la loi de Newton ne trouve pas d'application pratiquement appréciable, à cause des vitesses énormes des molécules, d'ailleurs très distantes les unes des autres […] »[818]. Mais un siècle après Herschel, les moyens permettent l'observation et même l'enregistrement de ces mondes, ainsi que la mesure des vitesses des apparences observées : ce fut le cas pour la Nova apparue dans la constellation de Persée en 1901 et qui impressionna fortement la communauté astronomique internationale, notamment par la rapidité des mouvements de matière amenant sa dispersion progressive. C'est pourquoi, dans l'inspiration mécaniste et cartésienne qui l'influence, les Novae ont pris une telle importance dans la théorie de Belot,

[818] BELOT, Emile, « Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.121,1910, p.642.

théorie plaçant choc et frottement comme des conditions indispensables à l'apparition de tout monde et de toute vie :

> D'après les mêmes principes aucun système cosmique ne peut résulter de l'évolution par attraction d'une grande nébuleuse vers son centre : car cette condensation serait très lente ; et d'ailleurs l'attraction dans un système devrait concentrer toute sa matière au centre alors que dans les systèmes de satellites autour des planètes, des planètes autour du Soleil et dans les spires de spirales nous constatons la *dispersion* de la matière autour de chaque centre. Il nous faut donc chercher l'origine des Mondes dans des astres à évolution rapide résultant d'une rencontre cosmique où naîtra l'embryon d'un système. Or ces astres existent : ce sont les étoiles nouvelles (Novae) ; et il n'y a pas d'autres astres de ce genre dans l'Univers. C'est dans les Novae que nous devons trouver les deux types cosmiques déjà différenciés qui par leur rencontrer vont procréer une nouvelle famille sidérale.[819]

<u>Fig. 3.2.8</u>. : La Nova de Persée, étudiée par Ritchey, Campbell et Wright en 1901. Photographie reprise en 1911 par Belot.
<u>Source :</u> CLERKE, Agnes M., *Problems in astrophysics*, Adam & Charles Black, Londres, 1903, Planche XVIII.

Le problème cosmogonique que Belot tente de résoudre est donc de même nature que celui de l'AP à cette époque, car il a été renouvelé par les deux grandes techniques qui fondent l'AP, à savoir la photographie et la spectroscopie. L'apparition de ces techniques légitime le caractère scientifique de la cosmogonie : « En retour des riches matériaux que [la Science moderne] nous offre, accumulés depuis cinquante ans par la photographie et le spectroscope, elle peut nous demander d'ériger la Cosmogonie en une discipline véritablement scientifique […] »[820]. Mais une telle audace scientifique, à savoir la remise en question de l'hypothèse de Laplace par le renversement de l'attraction newtonnienne au profit des forces répulsives et des tourbillons cartésiens, a-t-elle rencontré un écho dans la communauté scientifique française ? Guillaume Bigourdan, en 1911, fait une revue plutôt enthousiaste du premier ouvrage de Belot. Il écrit en effet, que « Ce qui différencie profondément la nouvelle théorie des Cosmogonies antérieures, c'est qu'elle aboutit à de nombreuses et très précises vérifications. Même en faisant quelques réserves sur certaines des hypothèses adoptées, notamment sur la vitesse du tube-tourbillon, on ne peut qu'être frappé par l'ensemble très cohérent qui fait de la

---

[819] BELOT, Emile, L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers, Payot, Paris,1924, p.22.
[820] BELOT, Emile, « Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.121,1910, p.643.

Cosmogonie nouvelle une véritable discipline scientifique […] »[821]. Poincaré, pour sa part, s'il reproche à Belot « d'avoir été un peu plus ambitieux qu'il ne convient de l'être dans l'état actuel de la Science et d'avoir voulu prématurément trop embrasser »[822], reconnaît malgré tout que certaines de ses idées pourront s'avérer fécondes dans le futur. Mais l'audace de Belot est évidemment une source de critiques : Poincaré avance le côté arbitraire de certaines hypothèses. Véronnet abonde dans le sens de Poincaré, en plaçant la critique sur un autre point : la vitesse nécessaire, mais démesurée, que le tube-tourbillon doit posséder pour engendrer le monde que l'on connaît, à savoir 75 000 kilomètres par seconde : « On ne voit d'ailleurs aucune cause au monde capable d'imprimer une pareille vitesse à une masse gazeuse »[823]. Ainsi, il sera important par la suite d'étudier plus en avant les relations de Belot avec les scientifiques de son époque. Car si Belot n'appartenait pas à la communauté astronomique française, il semble avoir créé des liens avec des savants de premier plan comme Poincaré, avec qui il semble s'être parfois entretenu et qui a présenté un grand nombre de ses notes à l'AdS, ou encore Deslandres qui a lui aussi présenté des notes de Belot à l'AdS et qu'il a très certainement fréquenté à la SAF.

3.2.2. Des rayons cathodiques à une théorie corpusculaire du Soleil

Autre domaine d'intérêt, les rayons cathodiques sur lesquels Deslandres mène également des recherches de laboratoire, rayons qui vont fortement intéresser les physiciens de la fin du XIX^{ème} siècle et aboutir à l'idée d'électrons, constituants ultimes de l'atome. Nous allons ainsi voir de quelle façon ces recherches de laboratoire ont permis à Deslandres d'articuler l'ensemble de ses observations solaires, planétaires, et cosmiques (nébuleuses, comètes, etc.), par la construction d'une théorie cathodique des phénomènes de l'univers pris dans leur ensemble.

C'est à partir de l'observation de l'éclipse de Soleil de 1893 que Deslandres commence à évoquer l'intervention de phénomènes électriques comme explication des apparences solaires, mais aussi terrestres ou célestes, dans un rapport publié seulement en 1897 dans l'*Annuaire du*

---

[821] BIGOURDAN, Guillaume, « Revue des publications astronomiques », *Bulletin Astronomique*, 28, 1911, p.469-470.
[822] POINCARE, Henri, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, Paris,A. Hermann et fils, 1911, p.279.
[823] VERONNET, Alexandre, *Les hypothèses cosmogoniques modernes*, Paris, Librairie Hermann, 1914, p.94.

Bureau des Longitudes[824]. Il se réclame à cette occasion des idées de Fizeau qui soutient, en 1891, l'idée que l' « on doit considérer les apparences lumineuses des protubérances non comme dues à des transports de matière, mais comme résultant de la propagation non instantanée de phénomènes électriques à travers des masses gazeuses […] »[825]. Et comme preuve de cette hypothèse, Deslandres, comme Fizeau, met en avant les conditions expérimentales d'obtention, au laboratoire, des mêmes raies de l'hydrogène que celles observées pour les protubérances, raies pour lesquelles Deslandres et Cornu ont participé à la reconnaissance complète de la série :

> Mais, bien que l'hydrogène intervienne dans la plupart des combustions chimiques et ait été traité depuis longtemps de toutes les manières, ces raies caractéristiques n'ont pu être obtenues encore que par une action électrique. La chaleur et la combustion chimique ne les donnent pas, alors que la plus petite bobine de Ruhmkorff les fait naître avec facilité. Leur apparition implique donc une origine électrique, et cette remarque a déjà été présentée par M. Fizeau et d'autres observateurs. Cette preuve nouvelle, qui repose sur des milliers de tentatives et d'expériences, a une valeur beaucoup plus grande que toutes les analogies de forme signalées plus haut.[826]

Deslandres généralise cette idée, émise par Fizeau au sujet des protubérances, aux autres parties de l'atmosphère solaire : chromosphère et couronne, et tente de relier les apparences particulières à celles observées aux laboratoires :

> Je propose une autre hypothèse, meilleure à mon sens, qui assimile les aigrettes coronales aux rayons cathodiques des gaz raréfiés. Les couches supérieures de la chromosphère sont fortement électrisées et à pression très basse ; si l'électrisation est négative, on a justement les conditions spéciales des tubes de Crookes. Les plages brillantes de la chromosphère émettraient des jets cathodiques plus actifs que ceux des régions voisines, rectilignes et à peu près normaux, qui illumineraient par phosphorescence les poussières cosmiques répandues autour du Soleil[827].

Mais Deslandres ne cherche pas à rompre avec les idées de ses prédécesseurs : il vise à intégrer son hypothèse cathodique avec la théorie mécanique de Faye : il va jusqu'à évoquer

---

[824] DESLANDRES, Henri, « Observations de l'eclipse totale du soleil du 16 avril 1893. Rapport de la mission envoyée au Sénégal par le Bureau des Longitudes pour l'étude physique du phénomène », *Annales du Bureau des Longitudes*, t.5, 1897, p.C1-C74.
[825] FIZEAU, H., « Remarques sur l'influence que l'aberration de la lumière peut exercer sur les observations des protubérances solaires par l'analyse spectrale », *CRAS*, t.113, 1891, p.355.
[826] DESLANDRES, Henri, « Observations de l'eclipse totale du soleil du 16 avril 1893. Rapport de la mission envoyée au Sénégal par le Bureau des Longitudes pour l'étude physique du phénomène », *Annales du Bureau des Longitudes*, t.5, 1897, p.C64-C65.
[827] *Ibid.*, p.C70-C71.

l'interdépendance des phénomènes électriques et mécaniques, les uns pouvant engendrer les autres[828].

Peu de temps après la publication de ce rapport, Deslandres va publier un nombre important d'articles sur des recherches de physique concernant les rayons cathodiques. Ceux-ci sont alors extrêmement étudiés par les physiciens, et sont au cœur d'une polémique opposant les tenants de la théorie de l'émission (notamment les anglais Crookes et Schuster, et les allemands Plucker, Giese, G. Wiedemann et Helmholtz qui voient les rayons cathodiques comme des particules en mouvement), et ceux d'une conception ondulatoire (les allemands Hertz, Goldstein, E. Wiedemann et Lénard pour qui les rayons cathodiques sont des ondes au sein de l'éther)[829]. Deslandres fait partie des quelques scientifiques français à s'intéresser au sujet, aux côtés de Paul Villard, Jean Perrin, Henri Pellat ou André Broca. Benoît Lelong a montré que ces physiciens, entre 1896 et 1905, se sont presque exclusivement intéressés aux propriétés des rayons cathodiques, sans souci d'interprétation en termes de particules microscopiques. Deslandres illustre ce propos : il rend compte des phénomènes qui arrivent lorsque les conditions opératoires varient, à savoir la présence d'une ou deux fentes sur le trajet des rayons cathodiques, la pression à l'intérieur du tube, la différence de potentiel entre un fil et l'anode ou entre l'anode et la cathode, l'action d'un aimant, etc.[830] Mais pour Deslandres, les rayons cathodiques sont de même nature que les raies spectrales qu'il a étudiées lors de sa thèse : la présence d'un corps sur le trajet des rayons cathodiques dans un tube à gaz raréfié dévie et divise le rayon cathodique exactement comme le ferait un prisme ou un réseau sur de la lumière ordinaire. Il peut de cette façon produire un spectre cathodique comme il est fait de façon habituelle en spectroscopie, et appliquer les mêmes méthodes de

---

[828] *Ibid.*, p.C70.

[829] Sur les rayons cathodiques, voir : LELONG, Benoît, «Electron», *Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, LECOURT, Dominique (dir.), Quadrige/Puf, Paris, 2003, p.324-326 ; LELONG, Benoît, «Paul Villard, J.-J. Thomson et la composition des rayons cathodiques», *Revue d'Histoire des Sciences*, 50, 1997, p.89-130 ; BAUER, Edmond, « Les ions dans les électrolytes et les gaz. Evolution des idées sur la structure de l'électricité», *La Science contemporaine*, vol.1, Le XIXème siècle, TATON, René (dir.), Quadrige/Puf, Paris, 1995.

[830] Voir les articles de Deslandres dans les CRAS : DESLANDRES, Henri, « Action mutuelle des électrodes et des rayons cathodiques dans les gaz raréfiés », *CRAS*, t.124, 1897, p.678-681 ; « Propriétés nouvelles des rayons cathodiques qui décèle leur composition complexe », *CRAS*, t.124, 1897, p.945-949 ; « Propriétés des rayons cathodiques simples. Relation avec les oscillations électriques », *CRAS*, t.124, 1897, p.1297-1300 ; « Recherches sur les rayons cathodiques simples. », *CRAS*, t.125, 1897, p.373-375 ; « Explication de plusieurs phénomènes célestes par les rayons cathodiques », *CRAS*, t.126, 1898, p.1323-1326 ; « Remarques sur les rayons cathodiques », *CRAS*, t.127, 1898, p.1210-1215 ; « Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil », *CRAS*, t.137, 1902, p.1134-1136 ; « Explication simple de plusieurs phénomènes célestes et terrestres par les rayons cathodiques et les files de particules électrisées », *Les quantités élémentaires d'électricité : ions électrons, corpuscules,Mémoires réunis et publiés par Henri Abraham et Paul Langevin*, Gauthier-Villars, Paris, 1905. Il est à noter que la plupart des notes de Deslandres concernant les rayons cathodiques sont présentées par Poincaré.

travail qu'il a déjà utilisées lors de sa thèse. Il traite donc le problème des rayons cathodiques comme s'il s'agissait d'un problème d'optique :

Fig. 3.2.9. : Dispersion des rayons cathodiques par Deslandres.
Source : DESLANDRES, Henri, « Propriétés nouvelles des rayons cathodiques qui décèle leur composition complexe», *CRAS*, t.124, 1897, p.947.

Deslandres inscrit également ses travaux dans la continuité des idées de Poincaré, qui présente certaines de ses notes à l'Académie. En utilisant le dispositif Tesla-d'Arsonval qui permet de produire des décharges oscillantes dans les conducteurs, Deslandres arrive à obtenir un spectre cathodique réduit à une raie unique. Après avoir précisé que « L'influence des conducteurs et des appareils qui concourent à la décharge est évidente, et les travaux importants de Herz, Poincaré, Blondlot et autres sur la propagation des ondes électriques, sur les décharges continues et oscillantes indiquent la voie à suivre pour aborder la question », il peut conclure au fait que « Les rayons cathodiques simples correspondent à des oscillations électriques simples »[831].
Il est donc important d'observer que sa recherche sur les rayons cathodiques, et donc son application future dans le domaine de l'AP, est à situer dans le contexte des questions traitant au rapport entre la lumière et les ondes électriques, c'est-à-dire au changement bouleversant les rapports entre la mécanique et l'électromagnétisme. Deslandres note à plusieurs reprises que ses expériences ont été menées sur les conseils de Poincaré : or, celui-ci a été un des principaux acteurs en France des questions tenant aux ondes électromagnétiques. Et sur ce point du renversement de la hiérarchie entre la mécanique et l'électromagnétisme comme théorie explicative, Poincaré note :

> […] il est oiseux de chercher à se représenter dans tous détails le mécanisme des phénomènes électriques, il est très important, au contraire, de montrer que ces phénomènes obéissent aux lois générales de la Mécanique.
>
> Ces lois, en effet, sont indépendantes du mécanisme particulier auquel elles s'appliquent. Elles doivent se retrouver invariables à travers la diversité des apparences. Si les phénomènes électriques y échappaient, on

[831] DESLANDRES, Henri, « Propriétés des rayons cathodiques simples. Relation avec les oscillations électriques», *CRAS*, t.124, 1897, p.1299-1300.

devrait renoncer à tout espoir d'explication mécanique. S'ils y obéissent, la possibilité d'explication est certaine, et l'on n'est arrêté que par la difficulté de choisir entre toutes les solutions que le problème comporte.[832]

Et comme le note Loïc Barbo : « Henri Poincaré n'est pas un expérimentateur, il ne peut que soumettre son idée et attendre une éventuelle vérification expérimentale »[833]. On peut donc supposer que Deslandres est l'un de ces expérimentateurs auxquels Loïc Barbo fait allusion, comme l'ont été également Kristian Birkeland ou Louis Décombe. Birkeland, « disciple norvégien de Poincaré »[834], obtient en 1897, comme Deslandres, un spectre cathodique où il montre que « la cathode, dans un tube de décharge, émet divers groupes de rayons d'espèces différentes se comportant entre eux d'une manière analogue, au point de vue extérieur, aux divers tons émis par une corde vibrante »[835]. L'intérêt que Birkeland porte à de telles expériences s'inscrit dans ses recherches sur les aurores polaires et plus généralement sur les relations entre le Soleil et la Terre. La démarche expérimentale que suit Birkeland est avant tout analogique : il s'agit de reproduire au laboratoire des apparences naturelles. Ainsi, il arrivera à re-créér à l'aide d'une *terrella* (une sphère magnétique recouverte de peinture fluorescente, placée dans un vide d'air et soumise à un flux de rayons cathodiques) deux anneaux lumineux au voisinage de ses pôles, semblables au phénomène des aurores polaires.
Deslandres, pour sa part, explore sous tous ses aspects l'émission de rayonnement par le Soleil. Il passe ainsi des rayons cathodiques aux ondes hertziennes, et rédige à ce sujet une note pour les *CRAS* en commun avec Louis Décombe, un physicien qui travaille avec Lippmann au laboratoire de recherches physiques de la Sorbonne. On trouve une description des travaux de ce dernier dans un ouvrage de Poincaré, où celui-ci note l'intérêt des expériences de Décombe relatives à la résonance multiple : pour lui, il s'agit de savoir si le phénomène de résonance multiple, dans le sillon de l'expérience de Heinrich Hertz en 1888 sur les ondes électromagnétiques, correspond à une multiplicité de vibrations électromagnétiques comme le pensent Sarasin et de la Rive[836], ou si au contraire cette vibration complexe ne correspond qu'à une seule vibration amortie. Décombe va ainsi

---

[832] POINCARE, Henri, *La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil*, Scientia, 1907.
[833] BARBO, Loïc, *Les Becquerel, une dynastie de scientifiques*, Belin, 2003, p.101.
[834] WITKOWSKI, Nicolas, « Kristian Birkeland, fabricant d'aurores boréales », *La Recherche*, Hors série n°15, avril 2004, p.25-27. Article publié également dans *La Recherche*, n°345, septembre 2001.
[835] BIRKELAND, Kristian, « Sur un spectre des rayons cathodiques », *CRAS*, t.123, 1896, p.492.
[836] Poincaré note ainsi l'interprétation de Sarasin et de la Rive : « Voici l'explication proposée par MM. Sarasin et de la Rive. La perturbation émanée de l'excitateur est complexe et résulte de la superposition d'une infinité de vibrations simples, que l'on peut appeler ses composantes. Telle une source lumineuse qui produit non pas une lumière monochromatique, mais une lumière blanche donnant un spectre continu. », POINCARE, Henri, *La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil*, Scientia, 1907, p.48.

démontrer expérimentalement la seconde explication, qui est celle proposée par Poincaré[837] : son dispositif consiste à photographier l'étincelle électrique produite lors d'une décharge oscillante. L'étincelle est placée au foyer d'une lentille convergente, l'image formée étant récupérée par un miroir tournant concave, dont la vitesse de rotation peut atteindre 400 à 500 tours par seconde. Décombe obtient ainsi les oscillations successives de l'étincelle électrique et peut affirmer que « Ces épreuves, très nettes et très caractéristiques, montrent immédiatement le caractère oscillatoire de la décharge. De plus, et c'est là le point capital, elles n'indiquent jamais la présence que *d'une radiation, et d'une seule,* de période déterminée, variable avec les dimensions de l'excitateur.[…] La seule explication possible de la résonance multiple est donc celle qu'en ont donnée MM. Poincaré et Bjerknes en se basant sur des conditions d'amortissement, qu'ils ont été les premiers à introduire dans la question et que l'expérience a d'ailleurs vérifiées »[838].

Deslandres s'entoure donc d'un physicien reconnu pour envisager l'émission d'ondes hertziennes par le Soleil : ils écrivent conjointement un article sur le sujet en 1902, intitulé « Sur la recherche d'un rayonnement hertzien émané du Soleil »[839]. Ils y développent l'idée que l'atmosphère solaire, au contraire de la surface solaire, doit probablement émettre des ondes hertziennes et des rayons cathodiques, en vertu de l'origine électrique supposée de son illumination. Cette probabilité d'émission est également renforcée par l'analogie atmosphère solaire / atmosphère terrestre : « On peut admettre que la chromosphère et les protubérances émettent des ondes hertziennes, ainsi que les décharges électriques de notre atmosphère »[840]. Tout le problème réside ensuite dans la détection de ces ondes, qui peuvent être absorbées par les hautes couches de l'atmosphère terrestre, et aussi se superposer avec les ondes hertziennes terrestres (par exemple émises lors d'orages). Deslandres et Décombe suggèrent alors d'équiper de récepteurs les observatoires d'AP (récepteur constitué par un radioconducteur de Branly, appelé aujourd'hui cohéreur, et d'une antenne) : « Les enregistreurs d'ondes seraient naturellement placés, dans les observatoires d'Astronomie physique, à côté des appareils consacrés à l'étude du Soleil et de son atmosphère. Les observateurs pourraient ainsi mieux saisir les relations supposées entre les deux ordres de phénomènes »[841].

---

[837] Voir : DECOMBE, Louis, « Sur la résonance multiple », *CRAS*, t.124, 1897, p.1016-1019 ; « Sur la résonance multiple », *CRAS*, t.126, 1898, p.1027-1028 ; « Mesure directe de la période des oscillations hertziennes », *CRAS*, t.126, 1898, p.518-521.
[838] DECOMBE, Louis, « Mesure directe de la période des oscillations hertziennes », *CRAS*, t.126, 1898, p.521.
[839] DESLANDRES, Henri, DECOMBE, Louis, « Sur la recherche d'un rayonnement hertzien émané du Soleil », *CRAS*, t.134, 1902, p.527-530.
[840] *Ibid.*, p.528.
[841] *Ibid.*, p.529.

On constate ainsi que les travaux de Deslandres sur les rayons cathodiques s'inscrivent dans un débat de physiciens. Il tente systématiquement de montrer l'originalité, la spécificité et l'antériorité de ses recherches. Ainsi, comme avec Hale au sujet du spectrohéliographe, il entame une polémique avec Eugen Goldstein, un astronome physicien engagé par Wilhelm Foerster à l'observatoire de Berlin en vue d'étudier les rapports entre l'électricité et les phénomènes cosmiques. Goldstein est connu pour avoir proposé en 1876 l'expression « rayons cathodiques » pour désigner le rayonnement émis par un tube à gaz raréfié[842], et d'avoir signalé la chargé électrique négative de ces rayons ; de même, en 1886, il découvre les « rayons canaux », qu'il décrit comme étant des rayons se propageant en sens inverse des rayons cathodiques et donc chargés d'électricité positive.
C'est donc à l'occasion de deux notes publiées en 1898 dans les *CRAS* que Deslandres défend l'originalité de ses recherches[843] vis à vis de Goldstein. Il écrit par exemple :

> En résumé, la division du rayon cathodique ordinaire en rayons simples et la substitution d'un rayon simple unique au spectre ordinaire de rayons simples dans trois cas distincts avec la bobine d'induction, constituent des faits nouveaux que je revendique, et qui sont indiscutables. Mais sur leur interprétation et les conséquences théoriques à en tirer, les opinions peuvent différer, surtout lorsque d'autres faits nouveaux viennent se joindre aux premiers. J'ai attribué la déflexion aux potentiels des deux cathodes et à l'oscillation électrique d'origine. M. Goldstein estime pouvoir tout expliquer par les seules variations du potentiel, sans faire intervenir l'oscillation. […][844].

A l'instar de la polémique qui s'est engagée dès 1893 avec Hale, le problème qui se pose est d'ordre chronologique (« M. Goldstein admet que les rayons simples sont émis successivement. J'ai présenté déjà la même idée dans la Note où j'ai annoncé la découverte de ces rayons »[845]), et d'ordre lexical (« M. Goldstein critique l'emploi des termes *rayons cathodiques, spectre et dispersion cathodiques*, comme impliquant des analogies non justifiées avec la lumière ordinaire »[846]), ce qui montre la difficulté d'interprétation des phénomènes, et surtout le danger de la transposition d'une expérience de laboratoire à un

---

[842] Ce rayonnement est connu depuis 1858 grâce aux travaux de Julius Plücker, puis ceux de Johann Wilhelm Hittorf en 1869.
[843] DESLANDRES, Henri, « Explication de plusieurs phénomènes célestes par les rayons cathodiques », *CRAS*, t.126, 1898, p.1323-1326 ; « Remarques sur les rayons cathodiques simples », *CRAS*, t.127, 1898, p.1210-1215 ; GOLDSTEIN, Eugen, « Remarques sur les rayons cathodiques », *CRAS*, t.126, 1898, p.1199-1201 ; « Sur les rayons cathodiques simples », *CRAS*, t.127, 1898, p.318-321.
[844] DESLANDRES, Henri, « Remarques sur les rayons cathodiques simples », *CRAS*, t.127, 1898, p.1213.
[845] *Ibid.*, p.1214.
[846] *Ibid.*, p.1214.

phénomène céleste. Il est important de noter que Goldstein et Deslandres attribuent une réelle valeur explicative à une expérience de laboratoire, en ce sens qu'elle permet d'expliquer les apparences cosmiques. La réponse de Goldstein aux revendications de Deslandres montre ainsi le problème que pose l'interprétation des faits observés :

> Maintenant que M. Deslandres, dans sa dernière Note, a précisé la force répulsive du Soleil « comme due simplement à la répulsion bien connue que le rayon cathodique primaire exerce sur le corps qu'il frappe (Crookes)… », il va sans dire que je dois accepter l'interprétation donnée par M. Deslandres. J'ai donc seulement à constater qu'il n'explique pas comme moi la répulsion des queues des comètes par la déflexion cathodique, mais par une autre espèce de répulsion, exercée sur les molécules pondérables.[847]

Tandis que Deslandres exprime de son côté l'importance des recherches de laboratoire pour l'explication des faits observés, en soumettant une hypothèse qu'il appelle « hypothèse cathodique » :

> En résumé, l'hypothèse cathodique, appliquée successivement au Soleil, aux comètes, à la Terre, aux nébuleuses, explique bien les faits qui, au premier abord, paraissent les plus énigmatiques. Elle s'appuie sur les grand travaux de laboratoire poursuivis depuis 20 ans sur les gaz raréfiés et les tubes à vide, et donc prend naturellement sa place dans le domaine astronomique, constitué surtout par des espaces vides et des atmosphères à basse pression. L'expérience indique que, dans les gaz raréfiés, l'énergie électrique prend la forme cathodique ; aussi le rayonnement cathodique, qui est doué d'ailleurs de propriétés remarquables, doit jouer un rôle important dans les phénomènes célestes.[848]

En 1902, Deslandres tente à nouveau de revendiquer l'originalité de ses recherches face aux idées de Svante Arrhenius[849]. Dans une note publiée dans les *CRAS*, il résume les points importants de la théorie d'Arrhenius[850] et en profite pour préciser ses propres idées. Il situe à nouveau l'origine de celles-ci à son mémoire de 1896 sur l'observation de l'éclipse de 1893, en précisant, comme à l'accoutumée, qu'il ne fait aucune hypothèse pour affirmer que le

---

[847] GOLDSTEIN, Eugen,» Sur les rayons cathodiques simples », *CRAS*, t.127, 1898, p.321.
[848] DESLANDRES, Henri, « Extension de l'hypothèse cathodique aux nébuleuses », *CRAS*, t.134, 1902, p.1488.
[849] Svante Arrhenius est un physicien et chimiste suédois. Il a notamment établi en 1887 la théorie de l'ionisation des électrolytes. En 1900, il développe une théorie expliquant la queue des comètes basée sur l'existence d'une pression de radiation exercée par le Soleil. En 1910, il publie L'Evolution des Mondes, sa théorie cosmogoniquer expliquant les phénomènes célestes à partir notamment de cette pression de radiation.
[850] Selon Deslandres, les idées d'Arrhenius comporte quatre hypothèses : le Soleil exerce une force répulsive sur les corps célestes, force assimilée à la poussée du rayonnement lumineux mise en évidence par Maxwell et Bartoli ; les éruptions de gaz à la surface du Soleil forment des particules repoussées par le Soleil si elles sont suffisamment petites ; les gaz solaires sont ionisés négativement, la condensation ayant lieu autour des ions négatifs ; les couches supérieures et raréfiées de l'atmosphère solaire émettent des rayons cathodiques. DESLANDRES, Henri, « Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil », *CRAS*, t.134, 1902, p.1134-1136.

Soleil exerce une force répulsive sur les corps qui l'entoure : cette force trouve son origine dans la nature électrique de la chromosphère, source de rayons cathodiques. Et pour se distinguer d'Arrhenius, comme il l'a fait avec Hale ou Goldstein, il se place sur le champ du langage : la force répulsive qu'il caractérise est liée aux *particules cathodiques* émanées du Soleil, tandis qu'Arrhenius la situe dans des *particules ioniques* pour une partie de ses hypothèses (celles non émises par Deslandres auparavant…). Et après cette mise au point toute en nuance, Deslandres expose, comme Arrhenius, sa propre théorie des nébuleuses, laissant transparaître ses idées cosmogoniques sur lesquelles nous reviendrons au prochain paragraphe, théorie dérivée d'expériences de laboratoire, puis successivement appliquée au Soleil, aux comètes et enfin aux nébuleuses, objets cosmiques qui suscitent à cette époque un grand nombre d'interrogations. Mais Deslandres est prudent, et connaît la difficulté et le danger à s'aventurer dans le domaine cosmogonique qu'il investit tout en s'en défendant. A l'occasion d'une nouvelle mise au point de l'originalité de ses travaux face aux idées d'Arrhenius et à celles de Nordmann sur les ondes hertziennes, il accompagne ses conclusions de réserves et tente de situer ses propres recherches dans la lignée des travaux cosmogoniques de ses illustres prédécesseurs :

> Cependant, je ne désire pas engager une longue discussion sur ces questions de cosmogonie, qui, naturellement obscures, dépassent souvent la portée de nos connaissances. Les grands esprits (Laplace, Hirn, Faye, Wolf), auxquels nous devons nos idées courantes sur la matière les ont présentées, à la fin de leur carrière, comme le résultat de longues méditations. Il convient donc de traiter ces questions avec une grande réserve ; pour ma part, je les ai jusqu'à présent abordées à la fin de Mémoires consacrés surtout à des recherches expérimentales. J'ai présenté l'hypothèse du rayonnement cathodique solaire, pour expliquer surtout la couronne, après l'observation de l'éclipse de 1893 et cinq années d'études journalières sur la chromosphère ; puis l'ai complété l'application aux comètes et à la Terre, à propos d'expériences sur les rayons cathodiques ; enfin, l'extension aux nébuleuses a suivi l'observation photographique à Meudon, des petites nébuleuses qui échappent aux instruments ordinaires.[851]

Peu à peu, les idées de Deslandres sur les rayons cathodiques vont évoluer, à l'instar des physiciens français s'intéressant à ce sujet. Benoît Lelong explique le processus de ce changement : durant la décennie 1900-1910, des physiciens français comme Pellat, Villard ou

[851] DESLANDRES, Henri, « Extension de l'hypothèse cathodique aux nébuleuses », *CRAS*, t.134, 1902, p.1486.

Deslandres vont substituer les « corpuscules » de Thomson à leurs anciennes « particules »[852], comme les particules cathodiques vues plus haut. D'abord localisée au Cavendish laboratory où travaille J.J. Thomson, la culture expérimentale des ions, incarnant une physique atomiste et réductionnste basée sur la production des gaz conducteurs et la manipulation des corpuscules et des ions, prend une dimension internationale à partir de 1900. Cette physique s'introduit dans le champ scientifique français tout d'abord à l'occasion du premier Congrès international de physique à Paris en 1900. Puis, lors du Congrès International de Saint-Louis en 1904 (en marge de l'Exposition Universelle comme pour Paris en 1900), où Paul Langevin (alors à Cambridge où il étudiera de 1902 à 1905) présente une communication en faveur de la notion d'électron dont le développement « lui fait briser les cadres de l'ancienne physique et renverser l'ordre établi des notions et des lois pour aboutir à une organisation qu'on prévoit simple, harmonieuse et féconde »[853]. Ainsi, s'opère le renversement hiérarchique entre la Mécanique et l'Electromagnétisme tant redouté par les polytechniciens comme Cornu :

> Déjà toute l'Optique, non seulement de l'éther, mais aussi de la matière, source et récepteur des ondes lumineuses, reçoit une interprétation immédiate que la Mécanique s'était montrée impuissante à lui donner, et cette Mécanique elle-même apparaît aujourd'hui comme une première approximation, largement suffisante dans tous les cas de mouvement de la matière pris en masse, mais dont une expression plus complète doit être recherchée dans la dynamique des électrons.[854]

Benoît Lelong a noté alors que les physiciens français intéressés par les rayons cathodiques « ne font pas qu'incorporer les atomes et les ions à leurs pratiques de recherche ; ils adoptent dans le même mouvement les procédures et la terminologie de Cambridge […] »[855]. Et, dans le sillage de Langevin de retour en France, se constitue un groupe de recherches sur les ions et les corpuscules des gaz conducteurs : le recueil *Ions, électrons, corpsucules* est ainsi publié en 1905, ouvrage important, de « très grande diffusion où les recherches sur les ions étaient exposées en français »[856]. Deslandres n'est pas en marge, car il est présent à Saint Louis en 1904, représentant la Société Astronomique de France au premier Congrès de Recherches Solaires. Il participe également au recueil de 1905, où son article reprend plusieurs de ses

---

[852] LELONG, Benoît, « Paul Villard, J.-J. Thomson et la composition des rayons cathodiques », *Revue d'Histoire des Sciences*, 50, 1997, p.126.
[853] LANGEVIN, Paul, « La physique des électrons », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.16, 1905, p.276.
[854] *Ibid.*
[855] LELONG, Benoît, *op.cit.*, p.127.
[856] *Ibid.*

notes précédentes en y incorporant effectivement les idées et le vocabulaire de la théorie des électrons. Bien évidemment, derrière ce changement de paradigme se trouve remise en question sa culture polytechnicienne et l'enseignement de Cornu, ce dernier, alors président du Congrès de 1900, brandissant encore les tourbillons cartésiens comme moyen de maintenir le primat de la Mécanique rationnelle. Mais, vers 1910, Deslandres suit le mouvement du groupe identifié par Benoît Lelong : les actions électromagnétiques deviennent primordiales pour le modèle solaire que le savant cherche à réaliser depuis ses débuts. Ses travaux sur les tourbillons cellulaires, sur les mouvements convectifs et la mécanique solaire qui en découle, s'intègrent alors aux schémas explicatifs faisant appel aux champs électrique et magnétique. A une théorie cathodique se substitue une théorie corpusculaire du Soleil :

> Toute cette discussion fait bien ressortir la grande importance des actions électriques dans le Soleil. Dans les deux dernières années, j'ai étudié surtout les actions aérodynamiques, c'est-à-dire les courants de convection de l'atmosphère, et j'ai écrit que ces actions aérodynamiques devaient être les principales, les autres actions étant seulement secondaires ; mais les résultats actuels me conduisent à changer cette première opinion. Il faut, sans abandonner les actions aérodynamiques, donner la première place aux actions électromagnétiques et électrostatiques.[857]

Pour comprendre les mouvements de l'atmosphère solaire à partir de considérations électromagnétiques, Deslandres doit bien évidemment tenir compte du champ magnétique, surtout depuis la découverte en juin 1908, par son perpétuel concurrent, Hale, d'un champ magnétique dans une tache solaire, détecté par l'effet Zeeman[858]. Deslandres n'est pas étranger au magnétisme : il a déjà travaillé sur cet effet avec Henri Becquerel peu après sa découverte[859], suivant en cela les traces d'Alfred Cornu. Dès 1897, celui-ci étudie les effets découverts par Zeeman, de la même façon qu'il a étudié les renversements des raies à la fin des années 1860 : « C'est d'ailleurs ce point de vue de l'existence de différences essentielles existant parmi les raies d'un même spectre, différences reconnues déjà dans diverses circonstances (raies spontanément renversables, groupes hydrogéniques, etc.) qui m'a engagé à poursuivre l'étude minutieuse du phénomène de Zeeman comme offrant une voie nouvelle susceptible de mettre en évidence ces familles de raies que les apparences optiques font déjà

---

[857] DESLANDRES, Henri, «Ionisation des gaz solaires. Relations entre le rayonnement et la rotation des corps célestes», *CRAS*, t.153, 1911, p.14.

[858] Cet effet, découvert par Pieter Zeeman en 1896, correspond à la perturbation des niveaux d'énergie des électrons d'un atome sous l'action d'un champ magnétique, se traduisant par une modification du spectre de raies d'émission du corps considéré.

[859] DESLANDRES, Henri, BECQUEREL, Henri, «Contribution à l'étude de l'effet Zeeman», *CRAS*, t.126, 1898, p.997-1001 ; « Observations nouvelles sur le phénomène de Zeeman », *CRAS*, t.127, 1898, p.18-24.

soupçonner. Effectivement, l'observation de groupes bien connus par leur succession géométrique régulière révèle, sous l'action du magnétisme, des anomalies analogues à leur inégale facilité de renversement spontané »[860]. L'étude de l'effet Zeeman l'intéresse donc comme une continuité de ses travaux spectroscopiques, à savoir la recherche de séries de raies identifiables dans le spectre d'un élément donné, et ceci dans la lignée d'une tradition que nous avons déjà évoquée. Il s'agit de faire vivre l'héritage de Fresnel, la primauté de la mécanique rationnelle, ceci passant par la résurgence (inattendue pour l'effet Zeeman) des tourbillons cartésiens :

> L'ensemble des phénomènes peut se résumer en un énoncé conforme aux règles de Fresnel et d'Ampère. […] Cette interprétation purement cinématique, quoique un peu superficielle, montre que le phénomène découvert par M. le D^r^ Zeeman peut être expliqué par des considérations tout à fait indépendantes des idées électrochimiques de M. le professeur Lorentz, qui en sont à l'origine, et se rapproche beaucoup des théories tourbillonnaires récemment remises en honneur.[861]

Cornu cherche donc à protéger encore l'édifice fresnélien face à la menace de l'explication électromagnétique des phénomènes lumineux[862]. Ses deux élèves, Deslandres et Becquerel, se penchent donc également sur le sujet, à la recherche de lois de dédoublements apparus sous l'effet du champ magnétique. Deslandres avait déjà noté les applications possibles en astronomie par exemple, non pour l'étude du magnétisme en tant que tel, mais pour la recherche de séries de raies dans les spectres, en directe continuité avec son travail de thèse :

> Les anomalies que nous venons de signaler nous montrent que l'influence magnétique met en évidence des différences jusqu'alors inconnues entre les raies d'un même spectre, et ouvre ainsi un monde nouveau de faits qui intéresse la Physique, la Chimie et même l'Astronomie. Ce phénomène peut, en particulier, fournir des distinctions importantes entre les raies d'un même corps ou de corps différents, et déceler des groupes naturels de raies vainement recherchés jusqu'ici dans un certain nombre de spectres.
>
> A l'appui de cette opinion nous citerons le fait suivant. La bande (λ = 388) du carbone a été photographiée par nous sous l'influence du champ magnétique. Cette bande, qui se retrouve dans le Soleil et dans les comètes, est remarquable, comme on sait, par la succession régulière de raies et par leur grand nombre.

---

[860] CORNU, Alfred, « Sur quelques nouveaux résultats relatifs au phénomène découvert par M. le D^r^ Zeeman «, *CRAS*, 126, 1898, p.182.
[861] CORNU, Alfred, « Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par M. le D^r^ Zeeman «, *CRAS*, 125, 1897, p.559-560.
[862] Sur l'effet Zeeman et la théorie de Lorentz impliquant l'existence d' »ions vibrants », voir : SAILLARD, Michel, «Histoire de la Spectroscopie, De la théorie de la lumière et des couleurs de I.Newton (1672) à la découverte de l'effet Zeeman (1897)», *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, N°26, 1988.

Or, ces raies n'ont montré aucun dédoublement ou élargissement sensible, alors que les raies du calcium, photographiées avec la même source, sur la même plaque, offrent très nettement la division habituelle.[863]

Durant la première décennie du XX^{ème} siècle, Deslandres met au point des appareils lui permettant de visualiser les différentes couches et éléments de l'atmosphère solaire (chromosphère, protubérances, filaments, facules, …), ainsi que leurs mouvements, à l'aide de son spectroenregistreur des vitesses . Les tourbillons cellulaires de Bénard lui ont apporté une possibilité d'explication de ces mouvements qu'il attribue alors à la convection : son idée, bien spécifique par rapport aux travaux étrangers selon lui, est d'envisager les mouvements de l'atmosphère solaire dans son ensemble, et non limités à des particularités comme les taches, à l'instar des mesures du champ magnétique réalisées par Hale. Ceci est un travail titanesque : « Avec une seule épreuve du Soleil entier, 36 000 pointés sont nécessaires. L'Observatoire de Meudon, dont le personnel est restreint et qui n'a pas de bureau de mesures, ne peut entreprendre une pareille tâche. »[864] Les mesures réalisées montrent toutefois une certaine divergence avec le modèle convectif qu'il s'attend à obtenir. Sans entrer dans le détail de ses observations, nous pouvons cependant montrer de quelle façon il va être amené à invoquer les travaux d'un physicien français, Dufour, pour apporter une explication nouvelle aux apparences enregistrées :

En réalité, les déplacements est et ouest sont très inégaux en valeur absolue, et la descente admise à l'Equateur dans les deux explications précédentes ne suffit pas à justifier les divergences. Une autre cause non encore invoquée doit intervenir.

J'ai rapproché aussitôt ce résultat expérimental d'un autre résultat similaire présenté par Dufour, le 4 juillet 1910, sur l'arc au mercure dans le vide, mis en rotation rapide sous l'influence d'un champ magnétique. L'anode de l'arc mercuriel est un anneau circulaire, au centre duquel est la cathode ; et cette anode circulaire est comparable au cercle équatorial solaire par sa forme et par la rotation qui l'anime. Même la similitude est encore plus grande avec la couche supérieure de l'atmosphère solaire à l'Equateur, si l'on remarque que, d'après les recherches antérieures de Pérot sur l'arc au mercure, les atomes lumineux se meuvent de l'anode à la cathode ; et donc, dans le cas présent, se meuvent, tout en tournant, de la périphérie au centre.

Or Dufour a mesuré le déplacement spectral d'une part au point de l'arc tournant qui s'approche de l'observateur et correspond au bord est solaire, et, d'autre part, au point de cet arc qui s'éloigne et correspond au bord ouest. Les déplacements sont dans le sens voulu, mais le premier déplacement est, en valeur absolue,

---

[863] DESLANDRES, Henri, BECQUEREL, Henri, «Contribution à l'étude de l'effet Zeeman», *CRAS*, t.126, 1898, p.1000.

[864] DESLANDRES, Henri, « Recherches sur les mouvements des couches atmosphériques solaires par le déplacement des raies spectrales. Dissymétrie et particularités du phénomène », *CRAS*, t.152, 1911, p.235.

notablement plus petit que le second. Le phénomène dans l'arc tournant et dans la couche de l'atmosphère solaire.[865]

Et Deslandres de rajouter en note : « Cet arc tournant au mercure est analogue aux jets cathodiques issus du Soleil et déviés par le champ magnétique solaire, que j'ai examinés dans une Note précédente ».

Fig. 3.2.10. : Spectre d'une section faite au bord solaire et dans une belle protubérance, par Deslandres (montrant l'effet du champ magnétique solaire sur le mouvements des ions présents dans l'atmosphère solaire) ; Photographie de l'arc au mercure tournant par Alexandre Dufour.
Source : DESLANDRES, Henri, « Explication simple des protubérances solaires et d'autres phénomènes par des champs magnétiques très faibles », *CRAS*, t.152, 1911, p.1435 ; DUFOUR, Alexandre, « Rotation spontanée et rotation dans un champ magnétique de l'arc à mercure. Observation du phénomène de Doppler », *Annales de Chimie et de Physique*, 8ème série, t.22, 1911, p.284-285.

Ainsi, sur un mode analogique, Deslandres trouve à nouveau des éléments explicatifs chez des travaux de physiciens français : Alfred Pérot, qui travaille comme physicien à Meudon, et Alexandre Dufour, dont nous savons seulement que ses premières notes à l'AdS, présentées par Jules Violle, indiquent qu'il travaillait au laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure. Deslandres peut alors intégrer les effets électromagnétiques et électrostatiques dans son explication des mouvements des vapeurs solaires, en supposant :

1. qu'il existe un champ magnétique solaire analogue à celui de la Terre. Le champ dont il parle est différent de celui étudié par Hale, limité aux taches solaires. Ce dernier champ magnétique est fort (Deslandres écrit 3 000 gauss), tandis que le champ magnétique relevé par Deslandres est présent sur toute la surface solaire (comme le champ magnétique sur Terre), mais est faible. Si l'effet Zeeman n'est pas décelable, selon Deslandres, pour ce champ faible (contrairement à celui mesuré par Hale), il faut utiliser une autre méthode, à savoir la formule classique : $H.\rho = m/e \cdot v\sin\theta$, où $v\sin\theta$ est la vitesse radiale de la vapeur étudiée, m/e le rapport de la masse de l'ion à

[865] *Ibid.*, p.238.

sa charge électrique, et ρ le rayon de courbure de la vapeur dont la rotation est provoquée par l'effet du champ magnétique et directement mesurable sur une photographie. Le champ H est donc accessible.

2. Le gaz solaire est ionisé. Le champ magnétique agit donc sur les ions solaires et courbe leur trajectoire, sans changer la grandeur de la vitesse. Deslandres donne comme causes d'ionisation les mouvements de la surface et de l'atmosphère solaire, l'effet de la lumière solaire ultraviolette, ou encore l'émission d'électrons par un corps porté à une haute température.

A partir de là, Deslandres peut proposer « l'ébauche d'une théorie corpusculaire du Soleil ». L'AP forgée par lui porte l'observation en étroite interaction avec l'expérimentation, l'observatoire est un laboratoire[866], suivant de près l'évolution de la communauté physicienne française comme l'a montré Benoît Lelong, de façon à trouver des schémas explicatifs dans les travaux de ses collègues, dans un contexte particulier que nous nous sommes attachés à décrire : intégration lente des idées concernant les ions et les électrons, résistance au renversement de la mécanique par l'électromagnétisme, intervention d'une physique cartésienne au sujet des tourbillons. En 1911, Deslandres peut alors écrire : « L'intervention des ions et électrons, déjà si féconde dans le laboratoire, devra donner la clef de nombreux phénomènes solaires et mêmes stellaires »[867].

Ainsi, son modèle solaire est une synthèse de l'ensemble des influences qu'il a subies de 1893 (année marquée par son observation de l'éclipse totale de Soleil au Sénégal, observation à laquelle il fait constamment référence pour justifier l'antériorité de ses travaux sur ses concurrents) à 1911, date à laquelle il présente l'ensemble de ses travaux comme « l'ébauche d'une théorie corpusculaire du Soleil ». Sa démarche englobe successivement des considérations mécaniques puis électromagnétiques de façon à expliquer « de façon simple », sans invoquer d'hypothèses, les apparences observées : « Cette étude met en relief, une fois de plus, le grand rôle des actions électromagnétiques dans le Soleil. C'est une face du grand problème si complexe de l'atmosphère solaire, dans lequel interviennent aussi des actions aérodynamiques, électrostatiques, chimiques et, en plus, celles dues à la gravitation, à la

[866] Deslandres écrit d'ailleurs que l'étude du Soleil peut être abordée « aussi bien dans un laboratoire de Physique que dans un observatoire ». DESLANDRES, Henri, « Recherches sur la rotation et l'éclat des diverses couches atmosphériques du Soleil », *CRAS*, t.146, 1908, p.1239.

[867] DESLANDRES, Henri, «Ionisation des gaz solaires. Relations entre le rayonnement et la rotation des corps célestes», *CRAS*, t.153, 1911, p.15.

pression de radiation, à l'ionisation, à la radioactivité »[868]. Et finalement, la reconnaissance d'un champ magnétique solaire incite à penser que celui-ci agit sur les ions solaires, modifie leur mouvement, déviant de façon notable les tourbillons cellulaires précédemment identifiés. Il en résulte pour Deslandres un découpage de l'atmosphère solaire en 3 couches : la première, proche de la photosphère, étant ionisée négativement à cause la haute température de la surface solaire, les deux autres étant successivement positive puis négative, par influence ou effet de la lumière solaire ultraviolette[869].

Fig. 3.2.11. : Illustration schématique des diverses couches de l'atmosphère solaire, par Deslandres.
Source : DESLANDRES, Henri, « Remarques sur les champs généraux, magnétique et électrique, du Soleil», *CRAS*, t.157, 1913, p.522.

Par la possibilité offerte de re-créér au laboratoire les apparences observées dans l'Univers, les hypothèses cosmogoniques connaissent à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle un renouveau certain qu'il nous faut maintenant regarder de plus près. C'est dans cette connexion entre le laboratoire et l'observatoire que la cosmogonie va en effet façonner l'AP française.

3.2.3. Le renouveau cosmogonique comme fondement de l'Astronomie Physique

« Le problème cosmogonique est la question fondamentale de l'Astronomie et de l'Astrophysique. »[870] Cette citation de l'astrophysicien Victor Ambartzoumian, rapportée par J. Merleau-Ponty, invite à se poser la question du rapport de l'AP à la cosmologie ou à la cosmogonie. Et tout d'abord est-il important de définir précisément la différence entre cosmologie et cosmogonie. Pour certains, la cosmologie a pour but l'étude de la structure de

[868] DESLANDRES, Henri, « Remarques complémentaires sur les champs magnétiques faibles de l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.152, 1911, p.1544.
[869] Il est à noter que Deslandres donne pour cadre à son modèle l'hypothèse cosmogonique. En effet, lorsqu'il décrit les propriétés du champ magnétique solaire primitif, il précise que « Les conditions sont d'ailleurs celles de la nébuleuse primitive de Laplace, déjà en partie condensée. ». DESLANDRES, Henri, «Ionisation des gaz solaires. Relations entre le rayonnement et la rotation des corps célestes», *CRAS*, t.153, 1911, p.15.
[870] « La méthode en Cosmogonie », in *Le Cosmos*, Recherches internationales, 14-15, 1959, p.22-41. Cité in MERLEAU-PONTY, Jacques, *Cosmologie du XX^{e} siècle. Etude épistémologique des théories de la cosmologie contemporaine*, Gallimard, Paris, 1965, p.300.

l'Univers, alors que la cosmogonie tente d'élucider l'origine et l'évolution de cet Univers[871]. Pour d'autres, la cosmologie « étudie la formation et l'évolution de l'Univers dans son ensemble »[872] tandis que la cosmogonie se limite à l'étude du système solaire, de sa formation et de son évolution future. Et d'après cette dernière définition, on ne peut qu'affirmer l'importance de la cosmogonie pour le développement de l'astrophysique : Audoin Dollfus, dans la préface à un ouvrage de Lucien Romani, écrit à ce sujet que « La naissance du Système solaire fait partie des interrogations fondamentales de l'astrophysique »[873].

Les travaux de J. Merleau-Ponty montrent que c'est à partir de Laplace que débute une véritable pensée cosmologique, établie sur des bases scientifiques[874]. Merleau-Ponty étudie ainsi l'évolution de l'hypothèse de Laplace jusqu'en 1870, en notant que les progrès de la spectroscopie, la fondation de la thermodynamique classique, l'approche énergétique des phénomènes « astro-physiques », ainsi que la diffusion des méthodes statistiques changeront les termes du débat[875]. Merleau-Ponty traite par ailleurs de la renaissance de la cosmologie à partir des années 1910[876], sous l'impulsion des travaux d'Einstein notamment : il nous paraît ainsi important d'analyser plus en avant ce qui, en France tout du moins, se rapporte à ce problème dans l'intervalle allant de 1870 à la première guerre mondiale, de façon à observer de quelle manière l'astronomie physique a pu être influencée par l'évolution de la pensée cosmogonique.

On constate qu'un certain nombre d'ouvrages se rapportent explicitement au sujet durant cette période : ils sont l'œuvre de savants reconnus comme Hervé Faye, Charles Wolf ou encore Henri Poincaré, qui nous invitent à considérer que l'attitude de « docte ignorance », comme

---

[871] Marc Lachièze-Rey écrit par exemple, à propos du terme « cosmogonie », qu' « il s'agit d'une cosmologie beaucoup plus physique, qui s'intéresse au contenu de l'Univers et à son évolution au cours de l'histoire cosmique, à la manière dont peuvent être observés les objets cosmiques. Cette cosmologie physique fait appel à toutes les branches de la physique, jusqu'à la physique des particules. » LACHIEZE-REY, Marc, *Initiation à la cosmologie*, Masson, Paris, 1992, p.2.

[872] GISPERT, Jacques, *Cours élémentaire d'Astronomie Générale*, http://www.dil.univ-mrs.fr/~gispert/enseignement/astronomie/2eme_partie/cosmogonie.html. Evry Schatzman et Jean-Claude Pecker en donnent une définition identique dans leur ouvrage fondateur : *Astrophysique Générale*, en 1959. Pour eux aussi la cosmogonie a pour objet le système solaire : détermination de l'époque de formation du système solaire, explication des grandes régularités du système solaire (plan des orbites des planètes et des satellites, sens de leur rotation et révolution), loi des distances planétaires, propriétés physico-chimiques des planètes, répartition du moment angulaire dans le système solaire. PECKER, J.C., SCHATZMAN, E., *Astrophysique Générale*, Masson, Paris, 1959, p.726-728.

[873] ROMANI, Lucien, *La naissance du système solaire*, Librairie Blanchard, Paris, 1983.

[874] MERLEAU-PONTY, Jacques, La science de l'univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine, Vrin, Paris, 1983.

[875] *Ibid.*, p.9

[876] MERLEAU-PONTY, Jacques, Cosmologie du XX^{e} siècle. Etude épistémologique des théories de la cosmologie contemporaine, Gallimard, Paris, 1965.

l'écrit Merleau-Ponty, a été dépassée en France après 1870[877]. En effet, cet auteur montre que les travaux de Laplace et les observations pionnières de nébuleuses effectuées par William Herschel n'ont pas trouvé d'échos au cours du XIX[e] siècle : « Concurremment à la progression imperturbable et de plus en plus « analytique » (dans tous les sens du mot) de la Mécanique céleste, il n'y eut donc pas, au XIX[e] siècle, de projet cosmologique global et systématique ; les essais se juxtaposent sans se combiner et il est même difficile de les énumérer et de les classer méthodiquement […] »[878]. L'hypothèse cosmogonique de Laplace[879] eut peu de retentissement en France, alors qu'elle suscita plus d'enthousiasme en Angleterre. En France, Arago n'a pas repris et complété l'hypothèse laplacienne, ni incité quiconque à poursuivre cette entreprise, entreprise que Laplace avait placé sous le signe de la mécanique rationnelle : c'est ce que Merleau-Ponty appelle la « carence d'Arago »[880]. De même, Jacques Babinet, en 1861, va soulever une objection grave à l'hypothèse de Laplace : il montre que cette hypothèse est incompatible avec la distribution des masses et des moments cinétiques, à savoir que masses et moments cinétiques devraient être accumulés vers le centre, alors que l'on n'observe pas cette distribution pour les moments cinétiques. Enfin, Merleau-Ponty montre le « fiasco » de Comte sur le terrain de la cosmogonie. Ce derner distingue en effet en cosmogonie deux questions, celle touchant à la formation des étoiles par condensation des nébulosités, et celle de la formation des systèmes planétaires : la cosmogonie doit se limiter à la deuxième. Et Comte de considérer notre système planétaire comme indépendant du reste de l'Univers. Merleau-Ponty montre clairement comment Comte a été l'un des freins à l'évolution d'une pensée cosmogonique en France, à savoir « la résistance opposée par l'esprit même de la Mécanique céleste à toute spéculation sur la genèse et l'évolution des structures »[881]. La mécanique céleste est, en cette première moitié du XIX[ème] siècle un

---

[877] FAYE, Hervé, Sur l'origine du monde. Théories cosmogoniques des Anciens et des Modernes, Gauthier-Villars, Paris, 1884 ; WOLF, Charles, *Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes. Suivi de la traduction de la Théorie du Ciel de Kant*, Gauthier-Villars, Paris, 1886 ; FREYCINET, Charles de, *Planètes télescopiques. Application de la théorie de Laplace*, Gauthier-Villars, Paris, 1900 ; BELOT, Emile, «Essai de cosmogonie tourbillonaire», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.55-70 ; POINCARE, Henri, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, A. Hermann et fils, Paris, 1911 ; VERONNET, Alexandre, *Les hypothèses cosmogoniques*, Hermann et fils, Paris, 1914. Cette liste n'est évidemment pas exhaustive. On peut noter que Faye est l'auteur, avec Ch. Galusky entre 1855 et 1859, d'une traduction du *Cosmos* de Humboldt, ouvrage de cosmologie majeur au milieu du XIX[e] siècle.

[878] MERLEAU-PONTY, Jacques, La science de l'univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine, Vrin, Paris, 1983, p.123.

[879] Laplace a émis l'hypothèse que le système solaire tient son origine d'une nébuleuse primitive. Cette nébuleuse, extrêmement diffuse et chaude, aurait connu un refroidissement et se serait condensée. De plus, sa rotation, à l'origine d'une force centrifuge compensant l'attraction newtonnienne, aurait donné naissance à des anneaux qui, se détachant, auraient formé les planètes.

[880] MERLEAU-PONTY, Jacques, *op.cit.*, p.165.

[881] *Ibid.*, p.171.

paradigme, une méthode fiable qui domine l'Astronomie française, incitant les savants à se méfier des hypothèses cosmogoniques, ne pouvant ainsi leur donner le qualificatif de théorie scientifique. Malgré l'attrait qu'elle suscite, la cosmogonie ne peut acquérir dans ce contexte le statut de science positive : le mémoire de Comte, qui pourtant souhaitait asseoir l'hypothèse laplacienne sur des bases positives et l'éloigner ainsi du discours théologique sur les origines de notre monde, n'eut pas en France de retentissement. Cependant, en Angleterre, il suscitera une polémique entre John Herschel et J. Stuart Mill. Et Merleau-Ponty d'affirmer que « jusqu'à la fin de la décennie 1870, peu de chercheurs se soucièrent d'explorer avec des méthodes rigoureuses toutes les implications et conséquences de l'hypothèse laplacienne et d'en repérer des traces possibles dans les phénomènes observables »[882].

Dans le but de comprendre les spécificités de l'AP française dans le contexte de la cosmogonie et de son évolution au cours du XIX^{e} siècle, il nous est apparu intéressant de considérer l'analyse fondatrice de Merleau-Ponty, à savoir l'intérêt et la comparaison des travaux de Laplace et de William Herschel. En effet, si ces deux savants ont participé à faire émerger l'idée d'une nébuleuse primitive à l'origine de notre monde, Laplace trouvant d'ailleurs des confirmations observationnelles de ces pensées théoriques chez Herschel, Merleau-Ponty note bien tout ce qui les distingue. Chez Laplace, la méthode est analytique : il applique une grille causale à des apparences célestes, à savoir la mécanique céleste. La démarche de Laplace est donc peu adaptée à un traitement synthétique du cosmos (relevant de la totalité, la cosmologie traitant l'Univers dans son ensemble) ; elle se restreint au système solaire, étant inadaptée, faute d'une précision dans les mesures, au domaine des étoiles : « c'est aux phénomènes physiques, non au monde stellaire, que dans son âge mûr et sa vieillesse Laplace s'efforça d'appliquer les méthodes analytiques qui avaient assuré le triomphe de la Mécanique céleste ; et c'est dans cette voie que s'engageaient ses jeunes émules, les Fourier, les Fresnel et les Ampère »[883]. L'approche d'Herschel est toute autre : celui-ci cherche à voir l'Univers tel qu'il est, dans sa globalité, ce qui passe par un perfectionnement des instruments, puis par la construction d'une théorie permettant de passer des apparences à la réalité. Herschel s'engage ainsi vers une histoire naturelle des cieux, par une démarche synthétique nécessitant l'usage de modèles. Le but d'Herschel est la découverte et non la précision, ce qui exclut la spécialisation de son travail. Et l'engage vers la voie des télescopes, au détriment des lunettes alors largement adoptées par la communauté des astronomes car mieux adaptées aux problèmes de la mécanique céleste : les télescopes,

[882] *Ibid.*, p.172.
[883] *Ibid.*, p.14.

pourtant instruments d'amateurs, assurent plus de brillance et de clarté aux observations, qualités non requises nécessairement pour l'observation méridienne des astres. Herschel est donc en rupture avec la pratique astronomique de son époque, désirant raisonner par induction à partir des apparences célestes : « Il est clair que dans la conception de la science de Herschel tout se fonde dans la vision et tout y retourne ; l'Univers est un objet qui est donné à voir […] »[884]. Ainsi, au travers des divergences soulignées par Merleau-Ponty au sujet de Laplace et de Herschel, comment ne pas voir l'opposition déjà vue plus haut entre Janssen et Cornu, au regard des méthodes et des moyens envisagés ? Comportement analytique chez l'héritier de Fresnel, versus attirance pour l'image, choix des télescopes, et comportement naturaliste pour l'inventeur du revolver photographique…

Ce n'est alors qu'à partir des années 1870 que la cosmogonie va acquérir ses lettres de noblesse : c'est, selon Merleau-Ponty, le mémoire d'Edouard Roche sur la figure des corps célestes[885] qui va assurer à l'hypothèse de Laplace une légitimité mathématique et mécanique[886]. Merleau-Ponty écrit alors que « Mieux ancrée désormais sur le terrain solide de la Mécanique céleste et de l'observation du système solaire, l'hypothèse laplacienne et, bientôt, ses rivales s'écartaient de la Cosmologie pour s'installer dans le domaine nouvellement découvert de l'Astrophysique »[887]. On peut donc penser que l'AP, en France, est, en partie du moins, apparue sur les controverses cosmologiques, récupérant un discours sur l'origine et l'évolution du système solaire, et donc sur la mécanique du Soleil : c'est dans ce contexte qu'Hervé Faye publie en 1884 son ouvrage traitant de l'origine du monde, à savoir notre propre système planétaire.

Il est tout d'abord remarquable de voir que Faye représente un personnage clé de la science astronomique à cette époque. Nous avons déjà vu les liens qu'il entretient avec Janssen dès le début de la carrière de ce dernier, et la coopération scientifique qu'ils ont poursuivie, notamment en ce qui concerne la constitution du Soleil. Faye intervient également dans des débats concernant la météorologie ou la géologie, ses idées dans un domaine en influençant

---

[884] *Ibid.*, p.100.

[885] ROCHE, Edouard, *Essai sur la constitution et l'origine du système solaire*, Mémoire de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Section des Sciences, vol.8, 1873.

[886] Roche avait déjà établi en 1849 une loi, appelée depuis « limite de Roche », donnant la distance au dessous de laquelle un satellite est détruit par les forces de marées dues à l'attraction du corps autour duquel il gravite. Cette distance est donnée par la relation R = 2,45.L.r où R est le rayon de l'orbite du satellite, r le rayon du corps attracteur et L un facteur dépendant du rapport des densités des deux corps. Comme Faye, Roche s'est également intéressé à la structure interne de la Terre (en proposant en 1848 une loi de densité à l'intérieur de la Terre), aux comètes et à la météorologie.

[887] MERLEAU-PONTY, *op.cit.*, p.183.

un autre : il peut ainsi écrire qu' « Il est impossible de ne pas être frappé de l'analogie qui existe, au point de vue mécanique seulement, entre le Soleil et la Terre »[888]. Poincaré, dans la notice biographique qu'il écrit sur Faye, souligne à ce propos qu'il « aimait à insister sur les rapprochements qu'on pouvait faire entre ces phénomènes météorologiques et ceux qu'on observe à la surface solaire et qu'il connaissait si bien. Le parallélisme lui paraissait frappant. Les taches correspondaient aux cyclones et naissaient dans les mêmes zones que les cyclones terrestres […] »[889]. Poincaré note également le rôle que Faye a joué en France sur le renouveau de la cosmogonie : « Toujours est-il que c'est grâce à Faye que les questions cosmogoniques, si longtemps délaissées, ont rencontré de nouveau l'attention qu'elles méritent »[890]. C'est sur ce point que l'un des aspects de sa pensée apparaît clairement : le renouveau des idées cartésiennes dans la science de l'Univers. En effet, depuis les travaux de Laplace, un certain nombre de découvertes astronomiques sont venues jeter le doute sur la validité de l'hypothèse laplacienne : l'observation de révolutions et de rotations rétrogrades de satellites en orbite autour de planètes comme Uranus ou Neptune montre l'insuffisance de cette hypothèse qui suppose des révolutions et des rotations directes. L'ouvrage cosmogonique de Faye est alors un plaidoyer en faveur des idées de Descartes. Dès la première page de son ouvrage, Faye place un avertissement :

> La célèbre hypothèse cosmogonique de Laplace est en pleine contradiction avec l'état actuel de la Science et les récentes découvertes des astronomes : il fallait la remplacer par une autre hypothèse. Ayant été conduit ainsi à reprendre une vue originale de Descartes, celle des tourbillons, pour caractériser, non pas certes l'état actuel, mais l'état initial du monde solaire, l'idée m'est venue de remettre sous les yeux de nos contemporains un des titres de ce grand philosophe à l'admiration universelle, suivant en cela l'exemple donné par les physiciens et les géologues qui reportent aujourd'hui à Descartes l'idée première de leurs plus fécondes théories. […][891].

Nous avons déjà vu dans la première partie de notre thèse les points principaux de sa théorie solaire. Comme le note Bosler en 1910 : « On saisit mieux l'ensemble de la théorie solaire de Faye si on la rapproche de ses conceptions cosmogoniques »[892]. Nous avions ainsi vu que pour Faye le Soleil est principalement à l'état gazeux, que des courants de convection

---

[888] FAYE, Hervé, *Sur l'origine du monde. Théories cosmogoniques des Anciens et des Modernes*, Paris, Gauthier-Villars, 1884, p.237.
[889] POINCARE, Henri, «La vie et les travaux de Hervé Faye», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.499.
[890] *Ibid.*, p.501.
[891] FAYE, Hervé, *op.cit.*, p.5.
[892] BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Paris, Doin et Fils Editeurs, 1910, p.45.

verticaux permettent à sa chaleur de nous arriver sans diminution sensible au cours des âges, et que la photosphère est une surface de condensation imposée à l'astre comme à tous les corps célestes par la basse température des espaces cosmiques. C'est par analogie avec les trombes terrestres et les cyclones que Faye invoque les tourbillons comme clé de l'énigme solaire, pour l'explication des taches notamment : les taches sont alors des tourbillons à axe à peu près vertical, engendrés dans la photosphère par la différence de vitesses linéaires des couches successives du Soleil[893]. Les tourbillons ont donc pris très tôt une place importante dans la conception cosmogonique de Faye : après le Soleil, c'est à l'Univers dans son ensemble que Faye applique les phénomènes tourbillonnaires.

En effet, pour Faye, l'Univers provient d'un chaos originel renfermant toutes les masses et toutes les énergies. Puis, « le chaos général au sein duquel est né l'Univers actuel était, dès l'origine, sillonné de vastes mouvements qui l'ont subdivisé, éparpillé en de nombreuses parties.[…] Eh bien, au sein de ces vastes courants, de ces fleuves immenses du chaos, de simples différences de vitesse entre les filets contigus ont dû faire naître çà et là des mouvements tourbillonnaires, tout comme dans les courants de notre atmosphère ou de nos fleuves »[894]. Dans le chaos sont donc apparus une multitude de nébuleuses dont le comportement tourbillonnaire et la condensation affectent le devenir : un système d'étoiles doubles provient d'une nébuleuse dont le mouvement tourbillonnaire ne décrit pas un cercle parfait mais une ellipse à grande excentricité, tandis que notre propre système planétaire, caractérisé par des orbites quasi-circulaires, a vu son mouvement tourbillonnaire régularisé très tôt.

Faye cherche ainsi à développer un modèle mécanique permettant d'expliquer les rotations et les révolutions de tous les corps du système solaire, mais également à concilier l'âge de la Terre donnée par les géologues avec celui du Soleil déduit des mesures de la constante solaire. En effet, à cette époque le problème de l'énergie solaire est épineux : quelle source d'énergie peut permettre au Soleil de rayonner depuis si longtemps ? Une énergie de type chimique ne peut expliquer cet âge. C'est pourquoi émergent de nouvelles idées, considérées comme certaines par la nouvelle science de la chaleur, la thermodynamique : on invoque la contraction du Soleil ou encore la chute continue de météorites ou de comètes sur le Soleil. Faye, pour sa part, va repousser la création de la Terre au delà de celle du Soleil : la Terre se

---

[893] Nous avons déjà vu que les idées de Faye sur le Soleil ont présenté une avancée majeure dans la compréhension des phénomènes solaires, notamment en considérant l'astre comme gazeux, animé de mouvements de convection : le Soleil est donc vu comme une machine thermique où le centre alimente en énergie la surface, et non plus comme un corps composé d'un noyau froid et obscur.

[894] FAYE, Hervé, *op.cit.*, p.181.

serait formée avant le Soleil. Il distingue pour cela deux périodes dans la contraction de la nébuleuse primitive : une première durant laquelle l'attraction était directement proportionnelle à la distance au centre, une seconde où l'attraction était inversement proportionnelle au carré de la distance. Durant la première période se sont formées les planètes jusqu'à Saturne, la loi de pesanteur interne impliquant des révolutions et rotations toutes dans le sens direct. Durant la seconde période, la nouvelle loi de pesanteur interne a conduit à des révolutions et des rotations pouvant être rétrogrades. Faye peut ainsi proposer, d'une façon naturaliste, l'histoire du système solaire « pour lequel j'emprunte à la Géologie quelques uns des termes bien connus »[895] :

- période éocène : Force centrale intérieure en A.r . nébuleuse sphérique animée de lents mouvements tourbillonnaires, formation d'une série d'anneaux concentriques, à peu près dans le même plan et circulant dans le même sens.
- période miocène : Force centrale en a $+\frac{b}{r^2}$. Formation des planètes. Leur sens de rotation dépend des valeurs de a et b à ces époques. Les planètes se rapprochent du Soleil encore en formation, la vie commence à se développer.
- période pliocène (période actuelle) : Force centrale en $\frac{B}{r^2}$ (B constante). Soleil définitivement formé, système stable, formation d'une photosphère (pouvoir émissif intense), présence de courants de convection verticaux permettant à l'astre de rayonner avec régularité, spectre de raies noires, combinaisons chimiques possibles en surface par le refroidissement.
- période finale : Force centrale en $\frac{B}{r^2}$. Ralentissement des courants de convection, extinction de la photosphère, encroûtement superficiel du Soleil, communication centre-périphérie interceptée (conduction et non convection).

On voit ainsi que pour Faye, une étoile est appelée à devenir une planète : « Bientôt on pourra marcher sur le Soleil, comme on le fait au bout de quelques jours sur les laves encore incandescentes au dedans qui sortent de nos volcans »[896]. On peut noter que Janssen, lorsqu'il présente devant les cinq académies le 25 octobre 1887 une conférence sur « L'Age des étoiles », reprend exactement les idées de Faye, et insiste sur l'idée d'évolution projetée du

[895] *Ibid.*, p.253.
[896] *Ibid.*, p.252.

monde vivant au monde cosmique : « Voilà donc l'idée d'évolution qui quitte la Terre et prend possession du système solaire. »[897]. Il reprend également la métaphore de Herschel, reprise par Faye, comparant l'Univers à une forêt nous offrant le spectacle d'arbres à des âges divers. Et Janssen de légitimer sa position en invoquant lui aussi Descartes lorsqu'il pense que « La Terre est un soleil encroûté »[898].

En conclusion, on peut dire que l'œuvre cosmogonique de Faye est un plaidoyer pour un renouveau cartésien, avec pour articulation l'utilisation des tourbillons : « Bien que le système des tourbillons ait été ruiné de fond en comble par Newton, il y a, dans les débris de la théorie cartésienne, d'admirables matériaux dont la Science moderne ne saurait se passer »[899]. Ceci est alors largement partagé par bon nombre de savants français à cette époque, certainement comme un rempart aux idées nouvelles qui apparaissent en physique à la fin du XIX^{e} siècle. Nous avons déjà vu (chapitre 2.1) que Cornu, l'un des plus importants physiciens de cette époque, estime que « L'esprit de Descartes plane sur la physique moderne, que dis-je ? il en est le flambeau ».[900] Robert Locqueneux a récemment évoqué ce renouveau, en citant notamment Pierre Duhem en 1893 : « Nous assistons depuis un certain nombre d'années, à une réaction de plus en plus marquée contre l'explication du monde par les actions à distance et à un retour aux tendances générales de l'Ecole cartésienne »[901]. Duhem a illustré son propos par les travaux de William Thomson, Tait ou Maxwell pour qui l'éther est constitué d'atomes-tourbillons disposés en tubes-tourbillons. Et finalement, on peut postuler que le renouveau cartésien est une façon, pour les scientifiques français de cette époque, de maintenir la primauté de la Mécanique rationnelle dans l'explication du monde.

En second lieu, il apparaît important de noter chez Faye la prééminence des études solaires qui légitime d'ailleurs les inférences analogiques des parties au tout, c'est à dire du Soleil aux étoiles : « La théorie du Soleil fait désormais partie et partie essentielle de notre Cosmogonie »[902]. Mais Faye, tout comme Laplace d'ailleurs, comprend et saisit les différences entre notre système solaire et les autres systèmes stellaires, et évoque les mêmes

---

[897] JANSSEN, J., « L'âge des étoiles. Discours dans la séance publique annuelle des cinq Académies, du 25 octobre 1887. », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1888, p.715.
[898] *Ibid.*
[899] FAYE, Hervé, *op.cit.*, p.169.
[900] CORNU, Alfred, «Congrès International de Physique. Discours d'ouverture», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.919.
[901] LOCQUENEUX, Robert, « Les théories physiques aux environs de 1900 : bilans et perspectives », in *Physique et Humanités scientifiques. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Etudes et documents*, HULIN, Nicole, (dir.), Presses Universitaires du Septentrion, 2000, p.121.

[902] FAYE, H., *op.cit.*, p.206.

arguments que Laplace pour assurer une place spécifique, à part, pour notre système planétaire : les autres étoiles sont trop éloignées pour que nous sentions leurs actions.
Enfin, la cosmogonie de Faye émerge à une époque où les nouvelles techniques, comme la spectroscopie et la photographie, produisent de nombreuses images qui fascinent et suscitent l'imagination chez les savants : images solaires, images de nébuleuses, images d'expériences de laboratoire. Les rapprochements visuels sont inévitables et font de l'analogie un moyen heuristique privilégié. Janssen évoque ce point lorsqu'il écrit qu' « en raison des analogies de forme, de constitution, d'origine, reconnues entre la Terre et les planètes, grâce à l'admirable instrument qui annule en quelque sorte les distances, on avait pu étendre à tous les membres du système solaire le principe de l'origine ignée de notre globe et des révolutions successives qu'il a subies […] »[903]. On peut dire ici que l'analogie a constitué un outil privilégié, notamment pour Janssen et Faye, tous deux héritiers de l'esprit de Humboldt que nous avons déjà analysé (chapitres 1.1 et 2.2) : unité des phénomènes, unité du savoir, convergence des disciplines.

La brèche ouverte par Faye et Roche dans l'édifice de l'hypothèse laplacienne va permettre à d'autres astronomes de s'engouffrer dans une cosmogonie positive, de plus en plus dégagée de l'étiquette spéculative qui la poursuit, même si le point d'interrogation est souvent la conclusion des ouvrages qui lui sont consacrés. On citera notamment Charles Wolf qui, deux ans seulement après l'ouvrage de Faye, rassemble les articles qu'il a écrits sur les hypothèses cosmogoniques en 1884 et 1885 dans le *Bulletin Astronomique*. Il y défend ainsi la théorie de Laplace en réfutant les objections de Faye, et se place dans la lignée des explications purement mécaniques du problème cosmogonique : « Une hypothèse cosmogonique, pour être complète et répondre au sens même du mot, devrait prendre la matière à l'état primitif où elle est sortie des mains du Créateur, avec ses propriétés et ses lois, et par l'application des principes de la Mécanique, en faire surgir l'Univers entier tel qu'il existe aujourd'hui ; l'application ultérieure des mêmes lois devrait également nous conduire à la connaissance de l'état futur et final du monde »[904]. En 1900, Charles de Freycinet[905] publie, pour sa part, un

[903] JANSSEN, J., op.cit., p.729.
[904] WOLF, Charles, Les Hypothèses Cosmogoniques. Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes. Suivi de la traduction de la Théorie du Ciel de Kant, Gauthier-Villars, Paris, 1886.
[905] Dans son *Dictionnaire des Astronomes*, Philippe Véron écrit que Charles de Freycinet « est entré à l'École polytechnique en 1846 : il devint ingénieur des mines et fut nommé en 1856 chef de l'exploitation du chemin de fer du Midi. Préfet du Tarn-et-Garonne après la révolution du 4 septembre 1870, il fut nommé par le gouvernement de la Défense de Tours, délégué au ministère de la Guerre près de Gambetta. » Après cela, de

court ouvrage sur les astéroïdes, qu'il nomme « planètes télescopiques ». Il commence en notant que « Les théories cosmogoniques, si chères aux anciens, sont revenues fort en honneur de nos jours. La célèbre hypothèse de Laplace a donné le signal de ce réveil »[906]. Il tente alors, comme Wolf, d'intégrer les découvertes astronomiques récentes dans le cadre de l'hypothèse laplacienne.

En 1911, Henri Poincaré publie son cours de Mécanique céleste professé à la Sorbonne : il y donne une revue des hypothèses cosmogoniques de façon critique. Il ressort de son ouvrage la docte ignorance relevée plus tard par Merleau-Ponty pour le XIX^{e} siècle, ou plutôt une docte patience. En effet, Poincaré pense que de meilleures observations sont nécessaires à la résolution du problème. Il reste alors sceptique sur l'évolution de la discipline : « La cosmogonie va-t-elle donc sortir de l'âge des hypothèses et de l'imagination pour devenir une science expérimentale, ou tout au moins une science d'observation ? […] Il ne faut pourtant pas se leurrer de vaines illusions : de trop grandes espérances seraient au moins prématurées. Et ce qui le prouve, c'est la diversité des opinions des astronomes sur l'évolution des étoiles, et en particulier sur l'origine des étoiles nouvelles »[907]. Et plus loin, Poincaré de conclure : « Nous ne pouvons donc terminer que par un point d'interrogation »[908]. Il prend en effet toutes les précautions qui s'imposent, en se rangeant du côté de Laplace lorsque ce dernier voyait avec défiance tout ce qui n'était pas le fruit de l'observation ou du calcul. Il fait néanmoins une revue de toutes les hypothèses depuis Kant jusqu'à Emile Belot sur lequel nous reviendrons. Il range ainsi les différentes hypothèses proposées en deux catégories : celles dont l'explication est purement mécaniste, ressort d'une astronomie mathématique et fait « peu d'emprunts aux sciences physiques »[909] (Laplace et Faye notamment), et celles proposées par des physiciens qui ambitionnent de résoudre le problème de l'origine de la chaleur solaire et « dont l'intervention était aussi inévitable qu'elle était désirable »[910] : après avoir cité Kelvin et Helmholtz et leurs théories basées ou sur la chute de météorites ou sur la contraction solaire, Poincaré évoque l'espoir apporté par les recherches sur le radium et la radioactivité. Mais deux autres points ont retenu notre attention dans cette revue faite par

---

Freycinet poursuit une carrière politique où il sera plusieurs fois ministre des Travaux Publics, des Affaires Etrangères, de la Guerre ou enocre Président du Conseil.

[906] FREYCINET, Charles de, Planètes télescopiques. Application de la théorie de Laplace, Gauthier-Villars, Paris, 1900, p.3.

[907] POINCARE, Henri, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, A. Hermann et fils, Paris, 1911, p.XVII.

[908] *Ibid.*, p.XXV.

[909] *Ibid.*, p.XIII.

[910] *Ibid.*

Poincaré. Tout d'abord, l'auteur pense que la théorie de Faye n'est pas plus juste que celle de Laplace, même si son jugement sur la théorie de Laplace est mitigé. Car l'afflux des connaissances sur des systèmes autres que notre système solaire incite à la modifier pour la rendre applicable à l'Univers dans son entier :

> S'il n'y avait que le système solaire, je n'hésiterais pas à préférer la vieille hypothèse de LAPLACE ; il y a très peu de choses à faire pour la remettre à neuf. Mais la variété des systèmes stellaires nous oblige à élargir nos cadres, de sorte que l'hypothèse de LAPLACE, si elle ne doit pas être entièrement abandonnée, devrait être modifiée de façon à n'être plus qu'une forme, adaptée spécialement au système solaire, d'une hypothèse plus générale qui conviendrait à l'Univers tout entier et qui nous expliquerait à la fois les destins divers des Etoiles, et comment chacune d'elles s'est fait sa place dans le grand tout. [911]

Cette dernière citation nous incite à suivre l'avis de Peter Galison, lorsque, dans un ouvrage récent consacré à Einstein et Poincaré[912], il compare les approches des deux savants : l'approche de Poincaré, contrairement à celle d'Einstein, cherche à construire une explication du monde à partir des matériaux théoriques existants, tandis que celle d'Einstein permet une déconstruction théorique. L'attachement de Poincaré à l'hypothèse laplacienne, généralisable à l'Univers, montre bien les difficultés de la communauté scientifique française à innover sur le plan théorique, à proposer des solutions sans les taxer de spéculations, finalement à investir un champ qui va constituer l'astrophysique du XX^{e} siècle. Et donc, en second lieu, on peut dire que Poincaré rejoint la définition que l'historienne de l'astronomie Agnes Mary Clerke donne de l'astrophysique dans son ouvrage précurseur de 1903 : quand Poincaré est fasciné par l'ordre et l'harmonie de l'Univers, par son évolution à partir d'un chaos initial et de la nécessité pour une cosmogonie à en rendre compte, Clerke écrit que « [L'Astrophysique] a comme postulat la loi de l'ordre, la même partout et toujours, et sa fonction première est de vérifier ce postulat. […] Car le chaos est la négation de la loi, et la loi est l'expression de la Volonté de Dieu »[913].

Comme dernier exemple de l'attraction que les hypothèses cosmogoniques ont suscitée chez les astronomes, nous citerons *Les hypothèses cosmogoniques modernes* d'Alexandre Véronnet paru en 1914. Après une licence de mathématiques et de physique obtenue en 1903, Véronnet soutient une thèse de doctorat ès sciences mathématiques en 1912 (sur la *Rotation de*

---

[911] *Ibid.*, p.XXIV.
[912] GALISON, Peter, L'Empire du Temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré, Robert Laffont, Paris, 2005.
[913] CLERKE, Agnes M., *Problems in astrophysics*, Adam & Charles Black, Londres, 1903, p.10.

l'ellipsoïde hétérogène et figure exacte de la Terre). Il devient professeur de mécanique à l'université de Strasbourg. Démobilisé le 4 février 1919, il commence un stage à l'Observatoire de Paris. Envoyé en mission à l'observatoire de Strasbourg, il est nommé le 1er octobre 1919 astronome adjoint à cet observatoire. En 1927, il est nommé professeur de statique et de résistance des matériaux à l'École nationale d'architecture de Strasbourg[914]. Véronnet exprime dans son livre la qualité du travail critique de Poincaré dans le problème cosmogonique, avec le regret que « les exigences d'un cours de mathématiques n'aient peut-être pas permis à H. Poincaré de donner le même développement aux conditions du problème et aux objections que l'on peut en tirer contre certaines hypothèses, comme celle de Laplace en particulier, ou certains détails de cette hypothèse »[915]. Véronnet se réclame donc plus de Kant que de Laplace[916] : « Tous ceux qui s'intéressent aux questions cosmogoniques pourront juger par les quelques extraits insérés ici à quel point Kant fut un précurseur, dont l'œuvre mérite de rester et d'être plus connue. Ils regretteront doublement que Poincaré ait été détourné peut-être d'une étude plus approfondie de l'ouvrage complet, par la longueur des considérations philosophiques et l'absence de formules mathématiques »[917]. Il fait alors sienne la maxime de Kant prétendant construire un monde à partir de matière, faisant de l'attraction de Newton le seul outil théorique nécessaire : « la loi d'attraction est tellement admirable, qu'elle seule suffit pour produire l'ordre varié des planètes »[918]. Plus tard, Véronnet publiera deux autres livres concernant l'Univers : *Constitution et évolution de l'Univers* en 1927, et *Constitution physique des étoiles* en 1938. En 1935, Louis Houllevigue retrace en partie les idées de Véronnet[919] : le chaos initial ne comportait que des charges électriques, celles-ci s'assemblant pour former de petits éléments ionisés comme l'hydrogène et l'hélium. Puis des éléments plus lourds apparaissent sous l'effet de l'attraction, celle-ci entraînant par la suite des condensations locales de matière, puis la formation des étoiles : ainsi la théorie de Kant est-elle chez Véronnet réactualisée par les idées neuves sur la constitution de la matière.

---

[914] D'après VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.
[915] VERONNET, Alexandre, *Les hypothèses cosmogoniques modernes*, Librairie Hermann, Paris, 1914, p.3.
[916] Kant publie en 1755 sa *Théorie du Ciel*, qui sera traduite en français par Wolf dans son *Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes.* Kant y expose avant Laplace l'idée d'une nébuleuse primitive se condensant pour former le Soleil et les planètes, ceci par la seule force de gravitation. Kant postulera également l'existence d'Univers-îles : pour lui, le Soleil est une étoile parmi d'autres, celles-ci se regroupant dans des Univers-îles que nous pourrions assimiler aujourd'hui aux galaxies.
[917] *Ibid.*
[918] *Ibid.*, p.7.
[919] Voir HOULLEVIGUE, Louis, *Problèmes actuels de l'Astrophysique,* Armand Colin, Paris, 1935, p.184.

En guise de conclusion, nous pouvons dire que les hypothèses cosmogoniques ont préoccupé les astronomes et les physiciens à la fin du XIX^{e} siècle : nombre de livres d'astronomie, de vulgarisation ou non, réservent un chapitre à ce problème, notant souvent qu'elles constituent le but ultime de l'astronomie. Il nous apparaît donc important d'en tenir compte dans la construction de l'AP en France, car elles ont constitué, sinon un but, au moins un cadre, une préoccupation, et certainement une méthode d'exploration de l'Univers chez les artisans, en France, de cette discipline en formation. Il nous est donc paru intéressant d'étudier comment un personnage comme Deslandres s'est approprié le sujet, et a réinvesti les caractéristiques de cette pensée cosmogonique que nous avons mis en évidence.

3.2.4. L'approche mécanicienne des problèmes cosmogoniques

La méthode adoptée par Deslandres a sans conteste visé à cristalliser des résultats obtenus dans des lieux divers : observatoire de Meudon (travail spectrohéliographique avec D'Azambuja), Sorbonne (collaboration avec Décombe), Ecole Normale Supérieure (emprunt aux travaux de Dufour), Collège de France (utilisation des recherches de Bénard). De même, il a investi la Société Astronomique de France (SAF) pour discuter ses idées ou déléguer une tache que nous avons vue être démesurée. Il est en 1902 président de la Commission Solaire de la SAF, commission comprenant, outre Deslandres, Bouët, de la Baume Pluvinel, J. Guillaume, l'abbé Moreux, Senouque, Schmoll et Touchet. Cette commission a pour but « de préparer et d'organiser l'observation continue non seulement des taches du Soleil, mais des autres parties de la surface solaire, et aussi de l'atmosphère solaire et des phénomènes connexes » [920]. De cette façon, Deslandres tente de pallier le manque de fonds qui l'empêche d'avancer dans sa recherche et de se doter d'un bureau de mesures.

Si Deslandres fut président de la SAF de 1907 à 1909, Belot en fut aussi vice-président[921]. Il y donne d'ailleurs un cours de cosmogonie qu'il continue à la Sorbonne de 1912 à 1914. Dans une note parue dans les CRAS en 1912, présentée par Deslandres, Belot indique que cette Société est à cette époque un lieu d'échanges privilégié et poursuit : « A la séance du 3 janvier 1912 de la Société astronomique de France, présidée par M. Puiseux, j'ai indiqué un mode de reproduction des reliefs et cirques lunaires, basé sur les tourbillons cellulaires de M. Bénard,

[920] DESLANDRES, Henri, « Instructions sur l'observation du Soleil par la Commission solaire », *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.409

[921] A une date que nous ignorons.

mais réalisée par un processus tout différent de celui de M. Dauzère et Bénard. »[922] Belot relate à cette occasion ses expériences censées reproduire avec de la parrafine le prétendu volcanisme lunaire, en l'expliquant à l'aide de ses idées sur les tourbillons :

Fig. 3.2.12. : Reproduction en paraffine des cirques lunaires, par Emile Belot.
Source : BELOT, Emile, «Sur la formation des cirques lunaires avec reproduction expérimentale», *CRAS*, t.154,1912, p.640.

Deslandres présente au même moment une note de Bénard où ce dernier développe l'idée, basée sur un raisonnement analogique, que « le relief lunaire provient de la solidification d'une nappe liquide, siège d'une circulation convective qui la divisait entièrement en tourbillons cellulaires »[923] Dans un article paru dans les *Annales de Chimie et de Physique*, Bénard fait sentir les interactions qui existent entre tous ces physiciens : « Une autre publication antérieure m'avait échappé : le professeur Larmor vient de la signaler dans une lettre de H. Deslandres »[924].

Il paraît important d'ajouter que l'intérêt que ces physiciens[925] ont manifesté pour les tourbillons est lié, nous semble-t-il, à l'afflux d'images (dessins ou photographies) de nébuleuses , et ce depuis les travaux fondateurs de William Herschel sur ces objets célestes. L'augmentation de la performance des lunettes ou télescopes (notamment liée à des diamètres plus importants), combinée à la puissance de la photographie permettant la révélation d'objets peu visibles à l'œil nu, a révélé l'omniprésence de la forme spirale dans l'univers. Belot écrit par exemple en 1910 que « le mouvement le plus général constaté dans l'Univers est un mouvement *hélicoïdal* ou *tourbillonnaire*, puisque, comme la Terre entraînée par la translation du Soleil, tous les astres ont un mouvement de rotation et de translation. La spirale des nébuleuses spirales n'est qu'une hélice dilatée. Nous voici donc au seuil d'une nouvelle cosmogonie »[926]. De même, Deslandres, à la suite des photographies qu'il réalise dès son arrivée à Meudon, affirme que « […] l'étude récente des nébuleuses par la photographie

[922] BELOT, Emile, «Sur la formation des cirques lunaires avec reproduction expérimentale», *CRAS*, t.154,1912, p.638.
[923] BENARD, Henri, «Sur la formation des cirques lunaires, d'après les expériences de C. Dauzère.», *CRAS*, t.154, 1912, p.261.
[924] BENARD, Henri, « Sur les tourbillons cellulaires », *Annales de Chimie et de Physique*, t.24, 1911, p.564.
[925] Nous ne nous sommes intéressés qu'à ces savants, mais une étude plus large, notamment à l'étranger, serait très utile.
[926] BELOT, Emile, «Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.121,1910, p.644.

indique une voie nouvelle et féconde. Presque toutes les nébuleuses montrent plus ou moins la structure en spirales ; j'ai reconnu cette structure avec la grande lunette de Meudon, dans des nébuleuses très petites qui échappent aux instruments ordinaires […] »[927] .

De son côté, Belot traite le problème en ingénieur mécanicien : il réalise au laboratoire des expériences dont il cherche les correspondances dans la Nature. Pour cela, il fait tourner un cylindre BC de rayon a (« correspondant au noyau des nébuleuses spirales »[928]) dans un bassin et cherche la répartition des vitesses des différents points du bassin (voir figure 3.2.16). Ceci modélise la nébuleuse amorphe et le tube-tourbillon qui vont se rencontrer. Belot tente ainsi, par correspondance, de trouver les forces qui s'appliquent à l'origine des nébuleuses : « Les chocs rendent maxima au point B les forces répulsives autres que la force centrifuge, c'est-à-dire la force thermique d'explosion analogue à celle qui agit dans les protubérances solaires, la pression de radiation et sans doute les forces électriques »[929]. Le principe qui sous-tend la pensée de Belot est un principe d'unité sur lequel peut s'appliquer un raisonnement analogique : « Déjà nous entrevoyons que dans le choc initial des astres qui leur ont donné naissance les satellites sont, dans une grossière mais suggestive approximation, les éclaboussures du noyau planétaire, les planètes les éclaboussures du noyau solaire, et les spires des nébuleuses spirales les jets centrifuges de leur noyau »[930].

Fig. 3.2.13. : Explication par Belot des nébuleuses spirales à l'aide d'une expérience de laboratoire.
Source : BELOT, Emile, *L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers*, Payot, Paris,1924, p.20 ; BELOT, Emile, «Expérience reproduisant les spires des nébuleuses spirales», *CRAS*, t.154,1912, p.1781.

Le même principe est à l'oeuvre chez Deslandres : nous avons déjà vu que pour lui, l'unité de la matière dans l'univers implique une identité des phénomènes, les apparences changeant seulement à cause des proportions différentes. Il peut alors inférer ses idées concernant le Soleil, aux comètes, aux nébuleuses, etc. :

---

927 DESLANDRES, Henri, «Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil», *CRAS*, t.134, 1902, p.1136.
928 BELOT, Emile, «Expérience reproduisant les spires des nébuleuses spirales», *CRAS*, t.154,1912, p.1780.
929 *Ibid.*, p.1781.
930 BELOT, Emile, *L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers*, Paris,Payot, 1924, p.24.

De mon côté, j'ai cherché simplement dans le système solaire, plus voisin de nous et plus accessible, des phénomènes semblables, et c'est ainsi que j'ai comparé la nébuleuse à une comète double ou, mieux, au système formé par le Soleil et les rayons coronaux diamétralement opposés qui correspondent aux deux belles protubérances également opposées que l'on observe si souvent. Or, les causes appliquées déjà à la genèse des rayons coronaux peuvent, si on les suppose agrandies, expliquer la nébuleuse et ses spires. Tel est le point capital de ma théorie.[931]

Enfin, il convient pour ces scientifiques, mécaniciens et expérimentateurs, d'expliquer la quasi-universalité de la forme spirale : ceci passe par la reconnaissance d'une force répulsive. Pour Belot, la mise en évidence de cette force est à placer au même niveau que les découvertes dues à la photographie ou à la spectroscopie. Lorsqu'il livre ses analyses sur l'insuffisance de l'explication laplacienne du système solaire, il fait bien sentir la place prépondérante que les expériences de laboratoire ont prises durant le siècle qui le sépare de Laplace : « La Physique n'avait pas encore révélé la force répulsive de radiation, cet adversaire si redoutable de l'attraction, qu'elle est capable de la dominer dans les chocs cosmiques. » Si la pensée cartésienne de Belot est loin d'être celle du XVII^{ème} siècle, elle en garde l'essence, à savoir une physique de contact : l'attraction newtonnienne structure peut-être le monde actuel, mais n'était pas prépondérante à son origine, époque marquée par les chocs entre corps célestes et explicable par les idées cartésiennes : « Les disciples de Newton voudraient réduire toute la mécanique céleste à la phase newtonnienne où le moindre phénomène d'attraction ne peut être atteint que par les calculs les plus ardus. La phase cartésienne, au contraire, par ses chocs dans les fluides, est justiciable de la Physique et de la Mécanique appliquées qui sont pratiquées couramment dans les laboratoires »[932]. Deslandres, par l'observation des rayons cathodiques dans les tubes à gaz raréfié, de ces mouvements centripètes, et par l'utilisation d'un raisonnement analogique permis par ses idées philosophiques d'unité des phénomènes, avance ainsi un discours étonnamment proche de celui de Belot :

La forme spirale des nébuleuses implique une force répulsive émanée du noyau, comparable à la force répulsive qui forme la queue des comètes. Cette force, que l'on peut opposer à l'attraction newtonnienne, doit

[931] DESLANDRES, Henri, «Extension de l'hypothèse cathodique aux nébuleuses», *CRAS*, t.134, 1902, p.1487.
[932] BELOT, Emile, L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers, Payot, Paris,1924, p.42.

jouer un rôle important dans l'évolution des mondes stellaires. La lumière des nébuleuses, comme la force répulsive, doit provenir du noyau.[933]

Finalement, nous observons que les savants de la fin du XIX^{ème} siècle et du début du XX^{ème} ont largement eu recours à l'analogie pour forger leurs idées sur le Soleil et les corps célestes. Nous postulerons, pour conclure, qu'il existe une évolution importante entre les travaux de Janssen et ceux de Deslandres, en ce qui concerne l'articulation entre observation et expérimentation : au début du XX^{ème} siècle, l'expérience de laboratoire fait désormais partie intégrante de la méthode utilisée en astronomie physique.

Si Janssen a effectivement conjugué expériences de laboratoire, observations sur le terrain, et pratiques de l'observatoire[934], il se montre cependant un héritier de Humboldt par sa méfiance des expériences de laboratoire en tant que reproduction du réel. Héritier, également, par le caractère morphologique de la science qu'il pratique, c'est-à-dire par l'importance de l'image dans la démarche scientifique. Pour Peter Galison, Humboldt est le meilleur avocat de cette science morphologique, science qui se définit par une étude mesurée, précise, de phénomènes réels, étendus mais interconnectés : les sciences morphologiques privilégient clairement l'étude du réel au détriment d'approches artificielles comme celles du laboratoire[935]. L'historien distingue ainsi deux traditions : celle de l'image et celle de la logique. La première traduit une approche qui cherche à représenter des processus naturels dans toute leur globalité et leur complexité : une seule image peut jouer le rôle de preuve, dans une représentation que Galison qualifie d' « homomorphe ». La tradition de la logique, pour sa part, se caractérise par l'utilisation de machines de comptage fournissant d'importantes masses de données, traduisant une approche statistique qui abandonne l'importance donnée aux occurrences individuelles (comme peut le faire une photographie) au profit de relations logiques entre les phénomènes enregistrés (représentation « homologue »).

Cependant, la tradition de l'image va évoluer au cours du XIX^{e} siècle, transformant la pratique de l'observatoire telle que la voyait Janssen. Selon la démonstration de Galison, les sciences morphologiques vont, à la fin du XIX^{e} siècle, commencer d'utiliser le laboratoire dans le but d'imiter la nature pour mieux la comprendre : « En re-créant la nature dans le

---

[933] DESLANDRES, Henri, «Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil. Applications aux nébuleuses.», *CRAS*, t.134, 1902, p.1134-1136.

[934] voir à ce sujet : AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, Annali di Storia della Scienza, anno 17, 2002, fasc.2

[935] GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, University of Chicago Press, 1997, p.79-80.

monde contrôlé du laboratoire, les scientifiques espéraient découvrir les processus physiques soutenant le monde *naturel* »[936]. C'est l'émergence d'une « tradition mimétique » que l'on observe effectivement à l'observatoire de Meudon, avec les travaux de Deslandres.

A la fin du XIX[ème] siècle, Deslandres est, nous l'avons vu, immergé dans une culture érigeant l'unité et la simplicité comme des valeurs importantes, et désignant l'analogie comme un moyen heuristique fort[937]. Si ses premières études traduisent la représentation homologue mise en évidence par Galison et caractéristique de la démarche que Cornu applique (recherche de lois empiriques de répartition de raies dans les spectres), il en vient progressivement à considérer l'image comme un outil privilégié, pour adopter, dans le même temps, la représentation homomorphe et mimétique qui apparaît à cette époque. Ses expériences sur les tubes de Crookes le conduisent à des « inférences analogiques »[938] du laboratoire au Soleil, de l'atmosphère terrestre à l'atmosphère solaire, puis du soleil aux comètes et aux nébuleuses. Ainsi peut-il écrire que :

> Tous les corps célestes, qui sont formés par la même matière, doivent présenter les mêmes phénomènes, mais dans des proportions différentes, d'où la diversité des apparences. Cette idée philosophique m'a conduit, en 1896, à annoncer que la Terre devait avoir une couronne comme le Soleil et une queue comme les comètes. De même, le Soleil doit, en très petit, ressembler à une nébuleuse.[…] On peut ainsi concevoir une évolution des corps célestes caractérisée par des variations des forces attractive et répulsive telles que chacune soit à son tour prépondérante ; on aurait une oscillation perpétuelle du type nébuleuse au type soleil et du type soleil au type nébuleuse.[939]

Ainsi, si Frédéric Chaberlot écrit à propos des scientifiques du XIX[ème] siècle impliqués dans les problèmes astrophysiques ou cosmogoniques que « la pertinence cognitive de l'analogie […] est douteuse »[940], nous pensons plutôt que cette méthode est à analyser dans un contexte

---

[936] « By re-creating nature in the controlled world of the laboratory, the scientists hoped to discover the physical processes underlying the *natural* world ». *Ibid.*, p.80.

[937] Poincaré, lui aussi élève de Cornu, a par exemple écrit : « […] toute généralisation suppose dans une certaine mesure la croyance à l'unité et à la simplicité de la nature. […] Pour prévoir il faut donc au moins invoquer l'analogie, c'est-à-dire déjà généraliser ». POINCARE, Henri, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1968, p.159-161.

[938] Sur l'analogie et ses fonctions, on pourra consulter la thèse de Catherine Allamel Raffin : *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse soutenue le 26 novembre 2004 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I.

[939] DESLANDRES, Henri, «Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil», *CRAS*, t.134, 1902, p.1136.

[940] CHABERLOT, *Frédéric*, *La Voie lactée. Histoire des conceptions et des modèles de notre Galaxie des temps anciens aux années 1930*, CNRS Editions, Paris, 2003, p.253.

scientifique, philosophique et social bien particulier. De plus, selon la philosophe des sciences Catherine Allamel-Raffin, l'analogie est un mode de rationalité qui, s'il ne présente pas la rigueur logique de la déduction ou de l'induction et fut pour cela rangé du côté du discours et de l'argumentation et non de la logique par Aristote, doit être pris en compte dans la méthode scientifique.

Catherine Allamel-Raffin précise en effet les différentes fonctions de l'image : elle permet de rendre visible des phénomènes auparavant invisibles. Elle permet ensuite de rendre lisible ce qui n'était que visible : ceci permet la construction de sens et de savoir, et suppose un « univers sémantique commun », passant par l'emploi de néologismes censés apporter des clés à l'interprétation des images. A ce stade, l'image cristallise donc une communauté scientifique : sa circulation au sein des réseaux scientifiques participe à la cohésion et à la constitution d'un groupe particulier. Enfin, l'image peut permettre d'expliquer et de prédire les phénomènes étudiés, notamment par le biais de simulations et de modélisations. L'image intervient alors pour expliquer des processus physiques, mais également pour « convaincre une communauté de pairs de la pertinence d'un nouveau dispositif. »[941]

L'ensemble de ces considérations peut nous aider à comprendre et à caractériser la démarche de Deslandres et de ses assistants, et à postuler l'existence d'une communauté scientifique bien spécifique, rassemblée autour d'un *maître*.[942]

Dans la perspective du « rendre visible », il nous apparaît intéressant de remarquer tout d'abord que la fin du XIX^{ème} siècle voit l'irruption de nouvelles images, révélant des mondes invisibles ou le montrant sous un jour nouveau[943] : la photographie devient un outil scientifique reconnu en astronomie ou en médecine, la chronophotographie puis le cinéma anime les images alors fixes, tandis que les rayons X dévoilent ce qui était caché. Photographie, chronophotographie, radiographie : de nouvelles techniques et de nouveaux rayonnements dégagent des horizons nouveaux. Deslandres évolue dans cet environnement particulier : il participe de cette nouveauté en montrant le Soleil par les raies du calcium et de

---

[941] *Ibid.*, p.210.

[942] L'analyse de Dominique Pestre semble pertinente pour caractériser cette communauté. Pestre a montré que les laboratoires en France, à cette époque, sont articulés autour d'un maître, qui détient le monopole de sa discipline : « certains princes de la science [tiennent] à ne rien céder de leur fief, même s'ils laissent leurs terres en friche.[…] la France est une chasse gardée au profit de la caste déjà pourvue ». PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992, p.217.

[943] Voir notamment : SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, 1994.

l'hydrogène. Ses expériences de laboratoire sur les rayons cathodiques sont à replacer dans la prise de conscience de l'émission par les corps, célestes ou terrestres, de particules nouvellement découvertes.

Dans la perspective de « rendre lisible » les images, Deslandres est souvent intervenu pour préciser les termes qu'il faudra employer pour désigner les apparences obtenues mais aussi les appareils utilisés, soulignant la nécessité d'un langage commun. Il intervient spécialement lors du Congrès de l'International Union for Cooperation in Solar Research à Oxford en 1905 où il tente de distinguer photohéliographe, spectrohéliographe, propose spectromobilographe ou spectromobile, etc. Il investit le terrain de la nomenclature pour spécifier ses propres travaux :

> Depuis 1903, Hale, abandonnant les mots anciens, désigne simplement par le mot *flocculi* les plages brillantes des vapeurs, petites ou grandes. Le mot *flocculi* a l'avantage de rappeler l'aspect des petites plages ; mais il ne rappelle pas le lien étroit, actuellement bien établi, avec les facules de la surface.
>
> A mon avis, il convient de conserver les trois mots *flocculi*, *faculide*, *réseau*, pour désigner les petites plages, les grandes plages et l'ensemble de toutes les petites plages.
>
> Les images seraient appelées *images de telle vapeur et de telle raie*, en ajoutant, lorsque la couche représentée est bien déterminée, images de la couche renversante, de la chromosphère, de la chromosphère supérieure, ou encore gazosphère.[944]

Enfin, pour expliquer ses images, Deslandres entreprend des expériences de laboratoire de façon à reproduire les apparences des phénomènes. Pour lui, l'analogie visuelle intervient comme un ressort explicatif, et peut conduire à la construction d'un modèle solaire : sa théorie cathodique ou corpusculaire du Soleil concentre les savoirs obtenus par l'imagerie solaire, les connaissances sur les tourbillons cellulaires, et les propriétés des rayons cathodiques. Cette démarche expérimentale n'est évidemment pas isolée : il serait aisé de multiplier les exemples d'expériences de laboratoire re-créant des phénomènes naturels. Nous pouvons citer à l'étranger par exemple les expériences d'Ebert citées par Bosler. L'observation d'une lumière autour d'une sphère de laiton, enfermée dans un cylindre de verre rempli d'un gaz à basse pression et soumise à des oscillations électriques, rappelle les apparences de la couronne solaire[945] : « Avec des oscillations très intenses, l'enveloppe lumineuse de la sphère

---

[944] DESLANDRES, Henri, « Sur le sens précis de mots anciens et sur le choix de mots nouveaux », Papers communicated to the Second Conference, held at Oxford, Sept. 1905, *Transaction of the International Union for Cooperation in Solar Research*, vol.1, 1906, p.195-196.

[945] Nous avons également cité Eugen Goldstein qui fut employé à l'observatoire de Berlin par Foerster pour développer les liens entre astronomie et physique, notamment sur le sujet de l'électricité dans l'espace céleste. Voir à ce sujet : HEDENUS, M., « Eugen Goldstein and his laboratory work at Berlin Observatory », *Astronomische Nachrichten*, vol.323, 6, 2002, p.567-569.

conductrice s'étend relativement très loin et offre une structure radiale caractéristique : parfois même on peut observer des rayons brillants s'élançant hors de l'enveloppe. Tout cela rappelle incontestablement l'aspect de la couronne lors du maximum des taches. »[946]

Fig. 3.2.14. : Décharges électriques dans un tube raréfié (expériences de Pupin)
Source : BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Doin et Fils Editeurs, Paris, 1910, p.293.

En France, le physicien Gaston Planté consacre, dans un ouvrage consacré à l'électricité, de nombreux chapitres à l'analogie que permettent des expériences et à leur caractère explicatif : « Si l'analyse spectrale a permis, dans ces derniers temps, d'étudier la composition chimique des corps célestes, il n'est pas téméraire aujourd'hui de chercher à se rendre compte de leur constitution physique par l'observation des phénomènes électriques et par les rapprochements auxquels ces phénomènes peuvent donner lieu. »[947]

Fig. 3.2.15. : Perforations électriques analogues aux taches solaires.
Source : PLANTE, Gaston, « Les taches solaires et la constitution physique du Soleil », *La Nature*, n°153, 8 mai 1876, p.353.

Denis Canguilhem, dans un ouvrage remarquablement illustré consacré à la photographie scientifique entre 1844 et 1918, cite également plusieurs savants ayant tenté de trouver des explications de phénomènes naturels par l'expérimentation : il cite notamment les travaux de Stephane Leduc en biologie, ceux de Constantin Decharme qui vise une « imitation par les courants liquides ou gazeux des phénomènes d'électricité et de magnétime », et expose des photographies éloquentes d'imitation des protubérances solaires dont l'auteur n'est pas identifié, conservées dans le fonds Camille Flammarion de la Société Astronomique de France :

Fig. 3.2.16. : Imitation des protubérances solaires en forme de flammes, de piliers tordus, dites éruptives, par la décharge électrique aux bords d'une feuille d'étain circulaire fixée au milieu d'une plaque de verre enfumée. Vers 1890.

---

[946] BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Doin et Fils Editeurs, Paris, 1910, p.291.
[947] PLANTE, Gaston, *Recherches sur l'électricité*, Gauthier-Villars, Paris, 1883, p.199.

Source : **CANGUILHEM, Denis, *Le Merveilleux Scientifique. Photographies du monde savant en France 1844-1918*, Gallimard, Paris, 2004, p.114.**

On comprend dès lors l'importance d'une pratique mimétique examinée par Galison, dans le cadre de cette AP française : le renouveau cartésien avancé déjà par Faye, constaté par Cornu, Duhem ou Poincaré, participe à l'histoire d'une discipline en pleine structuration, en tant qu'une mythologie fondatrice nécessaire à une communauté en émergence. De plus, ces idées enracinent au laboratoire la nouvelle astronomie : ce qui importe est l'observation, la description de phénomènes particuliers, puis leur explication par induction et recours à l'analogie. Suivant cette voie, le monde stellaire sera alors accessible par l'explicitation des apparences solaires particulières, par un mouvement d'essence philosophique présupposant l'unité matérielle de l'univers.

L'AP pratiquée par Deslandres peut alors être qualifiée d'hybride : Deslandres intègre à la fois le projet d'imagerie initiée par Janssen et l'horizon métrologique recherché par Cornu, pour développer un pratique mixte, où la nécessité métrologique s'est mise au service d'une quête de l'image, en puisant autour de lui les ressources matérielles et en mettant à profit les recherches menées à cette époque dans d'autres laboratoires de physique.

3.3 Le Service d'Astronomie Physique de l'Observatoire de Paris (1898-1914)

Lorsque Henri Deslandres quitte le Service d'Astronomie Physique à l'Observatoire de Paris en janvier 1898, emportant ses appareils et accompagné de son assistant Gaston Millochau, Maurice Loewy, alors directeur de l'institution phare de l'astronomie française, décide de maintenir la présence de la nouvelle astronomie au sein de son établissement voué à la mécanique céleste. Il en confie la direction à Maurice Hamy, autour de qui, entre 1898 et 1914 (pour la période qui nous concerne, mais qui perdurera après la première guerre mondiale), va travailler un groupe restreint mais actif et original. Composé de Maurice Hamy, de Pierre Salet, de Charles Nordmann, et, dans une moindre mesure, de Gaston Millochau, il développera en effet des recherches souvent pionnières sur les étoiles, où l'instrumentation jouera un grand rôle. Nous nous attacherons dans un premier temps à définir les formations et les parcours de ces savants, puis à décrire leurs travaux et centres d'intérêt durant la période considérée. Enfin, nous tenterons une analyse de ce groupe de façon à savoir si l'on peut le considérer comme une réelle communauté scientifique, organisée autour d'un programme commun et assurant la pérennité de ses idées. Ceci de façon à comprendre une situation paradoxale où ce groupe, malgré sa cohérence, son originalité, sa volonté de vulgarisation et de communication auprès d'un public large, a laissé peu d'empreintes dans le milieu astrophysicien français.

3.3.1 Formations et parcours : une équipe combinant les compétences

D'après l'ouvrage *Les observatoires astronomiques et les astronomes*, paru à Bruxelles en 1907[948], le Service d'AP à l'OP comprend Maurice Hamy, « chef du service de l'astronomie physique », ainsi que Gaston Millochau, en qualité d'aide astronome. Charles Nordmann travaille à l'OP en tant qu'astronome adjoint, où il poursuit des études de photométrie sans que son appartenance au Service de l'AP y soit mentionnée clairement. Pourtant, Deslandres, dans un rapport sur les travaux de Nordmann lu en 1912, écrit que Nordmann « est attaché au service des recherches physiques à l'Observatoire de Paris, et avec le titre d'astronome adjoint »[949]. Quant à Pierre Salet, ses travaux l'amènent à manipuler l'équatorial de la tour de l'Est, le grand cercle méridien ou le grand équatorial coudé : il partage donc ses activités entre astronomie de position et astronomie physique, et si l'on en croit Jean Bosler, il appartient avant la première guerre mondiale, au Service d'AP dirigé par Hamy, qu'il remplacera en 1927 : « A la paix, revenu à l'Observatoire dans le Service d'Astrophysique de M. Hamy, auquel il devait du reste bientôt succéder comme astronome titulaire, il prit possession du grand équatorial coudé […] »[950]. Ainsi, il nous est apparu judicieux de traiter ces quatre savants en parallèle, de façon à faire surgir des points de convergence dans leurs parcours et leurs travaux.

Date	Hamy (1861-1936)	Salet (1875-1936)	Nordmann (1881-1940)	Millochau (1866- ?)
1883	Licence à la Sorbonne			
1884	élève astronome à l'OP			
…				
1887	Thèse avec Poincaré (sur la figure des corps célestes) Aide astronome à l'OP			
…				
1892				Avec Deslandres, à l'OP
1893	Astronome adjoint à l'OP			

[948] DELPORTE, E., DELVOSAL, J., MERLIN, E., PHILIPPOT, H., STROOBANT, P., *Les observatoires astronomiques et les astronomes*, Hayez, imprimeur de l'observatoire royal de Belgique, Bruxelles, 1907.
[949] « Rapport sur les travaux scientifiques de M. Charles Nordmann par M. Deslandres. Rapport lu le 19 février 1912 », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.
[950] BOSLER, Jean, «Pierre Salet (1875-1936)», *L'Astronomie*, 1937, p.461.

…

1895	Prix Lalande			
1898				Aide astronome à Meudon avec Deslandres
1899		élève astronome à l'OP	Licencié ès sciences (après avoir été élève à l'Ecole Municipale de Physique et de Chimie de la Ville de Paris)	
1900			Attaché à Meudon	
1901			Expériences au Mont blanc	
1902	Répétiteur de physique à l'Ecole Polytechnique		A l'observatoire de Nice	
1903			Thèse avec Poincaré (sur les ondes hertziennes en astronomie physique)	Réalise sept missions à l'observatoire du Mont blanc, jusqu'en 1907.
1904	Astronome titulaire à l'OP		Employé auxiliaire à l'OP	
1905			Aide astronome à l'OP	
1906		Aide astronome à l'OP	Astronome adjoint à l'OP	
1907			Lauréat de l'Institut	Quitte Meudon pour Paris
1908	Entre à l'Académie des Sciences		Lauréat de l'Institut	Obtient le certificat de mathématiques générales de la licence
1909		Publie *Spectroscopie Astronomique*		Obtient le certificat de physique générale de la licence
1910		Thèse (sur la polarisation utilisée en astronomie)		Publie *De la Terre aux Astres*
1911			Chargé de conférences de météorologie électrique à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes ; professeur à l'Ecole d'Horlogerie et de Mécanique de Précision ; Chevalier de la légion d'honneur	
1912				
1913				
1914	Dirige la radiographie à l'hôpital de l'Institut			A la recherche d'un sujet de thèse…
1915				

1916			
1917			
1918			Officier de la légion d'honneur Secrétaire de la Commission Supérieure des Inventions intéressant la Défense Nationale
1919	Examinateur d'astronomie à l'Ecole Polytechnique	Attaché au grand équatorial coudé de l'OP	
1920			Astronome titulaire à l'OP Chef du Service de photométrie hétérochrome à l'OP
1921			Publie *Einstein et l'Univers. Une lueur dans le Mystère des Choses*
…			
1923			Publie *Le Royaume des Cieux. Un peu du Secret des Etoiles*
…			
1927		Astronome titulaire à la place de Hamy à l'OP	
1928	Président de l'Académie des Sciences		Chargé d'un cours d'astronomie physique à Buenos Aires

Tableau 1 : Parcours académiques et institutionnels de Maurice Hamy, Pierre Salet, Charles Nordmann, Gaston Millochau.

L'analyse du tableau 1 montre tout d'abord que ces quatre personnages ont tous une formation universitaire. Hamy soutient une thèse en 1887 sous la direction de Henri Poincaré, intitulée *Etude sur la figure des corps célestes* ; Nordmann, qui ne mentionne pas son passage à l'Ecole Municipale de Physique et de Chimie dans les Notices qu'il écrit sur ses travaux scientifiques, soutient une thèse, également sous la direction de Poincaré, sur l'utilisation des ondes hertziennes en AP ; Salet, soutient une thèse, également à la Sorbonne (nous ne savons pas qui l'a dirigé), sur la polarisation utilisée en astronomie ; quant à Millochau, il a eu un

parcours universitaire tardif, interrompu parla guerre, sanctionné par la licence ès sciences après de nombreuses années au service d'Henri Deslandres.[951]

Le parcours de Maurice Hamy paraît, pour sa part, assez éclairant. Sa femme, dans une courte biographie adressée à l'AdS, note tout d'abord que son mari avait choisi la filière universitaire par défaut, n'ayant pu entrer à l'Ecole Polytechnique, « à cause de son ignorance pour l'allemand, exigé au concours d'admission »[952]. De même, sa femme précise, parallèlement avec la non fréquentation de l'Ecole Polytechnique, le caractère isolé de son parcours : « C'est seul, sans l'appui d'aucune école et de ces groupes d'anciens qui appuient si souvent et si légitimement leurs camarades qu'il entame sa carrière où son extrême modestie laissa toujours à ses seuls travaux le soin de prouver sa valeur »[953]. Il gravit ainsi les échelons de la hiérarchie scientifique, commençant élève astronome à l'OP en 1884 pour accéder au grade d'astronome titulaire en 1904. Lui-même précise que c'est en 1901 qu'il fut chargé par le directeur de l'OP, Maurice Loewy, de reprendre les recherches d'Astronomie physique interrompues à l'Observatoire, depuis le départ de M. Deslandres[954].

Pierre Salet est, pour sa part, le fils du spectroscopiste Georges Salet, connu pour son *Traité Elémentaire de Spectroscopie* paru en 1888. Jean Bosler note également le caractère du savant qui s'est formé seul lorsqu'il écrit qu'« il ne chercha pas à mettre à profit les facilités qu'aurait pu lui offrir la carrière paternelle »[955]. Salet devient, comme Hamy, élève astronome à l'OP en 1899, où il s'occupe d'astronomie théorique, chargé notamment, au sein du Service Méridien, de la détermination des orbites. Conscient de l'importance que commencent à prendre les méthodes physiques en astronomie, Salet se tourne vers l'astronomie physique. Bosler note les difficultés qu'il va rencontrer, ne trouvant nulle part « parmi les astronomes en renom, ni l'aide matérielle ni même les conseils, les exemples ou les appuis moraux qui sont toujours si précieux aux jeunes gens »[956]. La notice biographique que Bosler écrit en 1936 peu après la mort de Salet devient l'occasion d'une analyse et d'une critique du milieu

---

[951] Nous avons déjàvu au chapitre 3.1 comment les relations entre Deslandres et Millochau se détérioreront à partir de 1904-1905, la querelle entre les deux hommes étant à l'origine du départ de Millochau de Meudon pour Paris.
[952] « Lettre adressée au secrétaire de l'Académie des Sciences par Madame Hamy », *Archives privées de M. Michel Hamy* . Nous remercions chaleureusement M. Michel Hamy pour nous avoir permis de consulter les archives concernant son grand-père.
[953] Ibid.
[954] *Notice sur les travaux scientifiques de M. Maurice Hamy*, Gauthier Villars, 1907.
[955] BOSLER, Jean, *op.cit.*, p.460.
[956] *Ibid.*

astronomique, qui nous apparaît extrêmement précieuse. En effet, Bosler note que, jusque dans les années qui ont suivi la première guerre mondiale, la formation des astronomes reste le fait d'éminents théoriciens comme Tisserand, Callandreau, Poincaré ou Andoyer. La conséquence en est que le matériel des observatoires « apparaissait suranné : peu de Directeurs étaient en situation de l'améliorer et les milieux dirigeants - universitaires ou hommes politiques – mal informés, n'appréciaient même pas autant qu'ils l'auraient dû l'importance capitale de l'Astronomie dans la vie intellectuelle d'une Nation »[957]. Bosler, dont nous détaillerons les idées dans le prochain chapitre, fait alors remarquer le fossé grandissant qui se creusera entre l'astronomie américaine et l'astronomie française, laissant aux savants français, dépourvus de moyens, les seules « ressources de leur esprit »[958].

De son côté, Charles Nordmann, avant d'entamer une carrière universitaire, passe par l'Ecole Municipale de Physique et de Chimie, et se prépare, selon Deslandres, à une carrière industrielle[959]. « Mais il est attiré irrésistiblement vers la science pure , et il se donne tout entier à l'astronomie physique, d'abord à l'Observatoire de Meudon, puis à celui de Nice »[960]. En 1906, il revient à l'OP en tant qu'astronome adjoint, et y développera des recherches de photométrie stellaire, ce qui l'amènera à prendre en 1920 la responsabilité d'un service qui sera entièrement consacré à cette activité.

Quant à Gaston Millochau, c'est auprès de Deslandres qu'il s'est formé, lorsque ce dernier était responsable du Service d'AP à l'OP. Millochau accompagne alors Deslandres lors de ses voyages d'observations d'éclipses, en 1893 au Sénégal, en 1896 au Japon et en 1900 en Espagne. En 1905, il se rend à nouveau en Espagne à l'occasion d'une éclipse de Soleil, mais cette fois-ci avec Janssen, et non avec Deslandres qui est pourtant présent. En 1898, Millochau suit Deslandres à l'observatoire de Meudon, selon lui, dans l'espoir de gravir les

---

[957] *Ibid.*
[958] *Ibid.*
[959] L'Ecole de Physique et de Chimie, créée en 1882, dispensait un enseignement de trois ans, reposant sur les dernières découvertes de physique et de chimie, et favorisant une approche expérimentale. Les élèves, recrutés à la fin de l'ecole primaire supérieure, étaient en général issus de familles bourgeoises très modestes. L'enseignement était gratuit et débouchait sur un diplôme d'ingénieur. A l'origine hors d'une concurrence avec les grandes écoles, notamment par son recrutement différent, l'Ecole de Physique et de Chimie était, d'après Anna Hurwic, méprisée par les élites. Voir BARBO, Loïc, *Pierre Curie (1859-1906) : le rêve scientifique*, Paris, Belin, 1998 ; HURWIC, Anna, *Pierre Curie*, Paris, Flammarion, 1995, p.49 ; GRELON, André, « L'Ecole Polytechnique, une école d'ingénieurs ? », *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994*, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Paris, Dunod, 1994, p.448.
[960] « Rapport sur les travaux scientifiques de M. Charles Nordmann par M. Deslandres. Rapport lu le 19 février 1912 », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.

échelons : « Ayant suivi en 1897 M. Deslandres à Meudon, à condition qu'il me fasse nommer aide astronome, celui-ci, vers 1900, changea sans raisons apparentes d'attitude à mon égard, et par ses insolences et ses humiliations me rendit l'existence d'autant plus pénible que les jeunes gens ignorants qu'il emploie dans son laboratoire, profitaient de son exemple pour manquer vis à vis de moi des plus simples convenances.[… En décembre 1903], Monsieur Janssen me retira du service de M. Deslandres et me fit travailler d'une façon différente puisque c'est à partir de cette époque que mes travaux furent publiés, sous mon nom, dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences […] »[961]. A la mort de Janssen, la situation de Millochau semble difficile, ce qui l'amène à demander sa mutation pour l'OP où il rejoint Hamy. Il va collaborer avec Hamy et Salet bien sûr, mais également avec Charles Féry pour déterminer plus précisément la constante solaire à l'aide d'un télescope pyrhéliométrique[962]. Gravement malade durant sa mobilisation, Millochau conserva un état de santé ne lui permettant pas de reprendre son activité à l'OP : il prit sa retraite en 1919.

En définitive, l'analyse comparée des parcours de ces quatre personnages montre une certaine originalité, sinon une marginalité, et tout du moins la permanence de parcours moins prestigieux que les savants qui développent la discipline à Meudon, à savoir des polytechniciens comme Deslandres, Fabry ou Pérot. Souvent les biographies consultées soulignent l'isolement, voire le manque d'appuis, dont ils ont dû trouver remédiation pour, malgré tout, pouvoir développer leurs recherches. Il s'agit donc d'un groupe a priori placé de façon peu favorable sur l'échiquier scientifique français qui se retrouve à l'OP.

3.3.2 Des travaux variés et originaux

L'étude des publications de ces quatre savants dans les *CRAS* permet de juger du caractère innovant de leurs recherches, mais également de la cohérence de leurs centres d'intérêts, et des collaborations qui ont pu en découler. Nous avons dans ce but relevé les thèmes de leurs recherches de façon chronologique :

---

[961] Cité in VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

[962] Charles Féry est connu pour avoir mis au point de nombreux appareils tels spectrographes, actinomètres, réfractomètres, pyromètres. Il a intégré la première promotion de l'Ecole de Physique et de Chimie, avant de devenir professeur d'optique de cette même école en 1902.

Date	Hamy	Salet	Nordmann	Millochau
1898	spectroscopie (cadmium) interférométrie			
1899	interférométrie (diamètre des planètes) spectroscopie (repères spectre solaire)			
1900	spectroscopie éclipse de soleil			
1901	stéréoscopie astronomique		ondes hertziennes (OH)	
1902	interférométrie		application des OH au soleil, aux nébuleuses, …	
1903			propriétés magnétiques de l'atmosphère terrestre	Mars à la Grande Lunette de Meudon
1904	spectroscopie (zinc) spectroscopie solaire		Ionographe	Spectre photographique de Jupiter
1905		Instrumentation : diaphragme iris Eclipse en Algérie	Ionisation atmosphérique (Algérie)	La couche renversante étudiée au Mont blanc Eclipse en Espagne
1906		Etude des atmosphères de Mercure et Vénus	Ionographe	Etude de la décharge intermittente Spectrohéliographe Spectroscopie infra-rouge (photographie) Instrumentation : le télescope de 1m de Meudon
1907	Instrumentation (réglage d'un train de prismes)	Etude de la polarisation des protubérances		Spectrohéliographe Spectroscopie IR
1908			Dispersion de la lumière dans l'espace céleste Etoiles variables Distances des étoiles	Instrumentation : pyromètre (avec FERY) Spectroscopie IR du soleil au Pic du Midi (comète)
1909			Température effective des étoiles	
1910	spectroscopie stellaire à l'OP		Eclat intrinsèque des étoiles Absorption atmosphérique de la lumière des étoiles Photomètre hétérochrome	
1911		Absorption et diffusion de la lumière par les météorites	Diamètre effectif des étoiles	Effets spectraux des décharges électriques dans les gaz (avec HAMY)

1912	spectroscopie stellaire (avec MILLOCHAU) instrumentation : arc électrique			Etude des décharges oscillantes
1913	spectroscopie (azote) instrumentation : réseau pour mesure de VR	voir MILLOCHAU	Rendement lumineux étoiles / corps noir Température effective des étoiles	Etude spectrale de la chromosphère (avec SALET)
1914	VR instrumentation : effet d'une tension alternative sur les radiations. (avec MILLOCHAU) Observatoire du Mont blanc			Nouvelle méthode pyrométrique (pour mesure de la température solaire)
1915	VR	loi de dispersion des spectres prismatiques (UV)		
1916	réduction des spectres prismatiques			
1917	diffraction des astres			
1918	VR			
1919	diffraction des astres			
1920	diffraction		Photométrie hétérochrome Pouvoir absorbant des étoiles	
1921		Spectrophotométrie des étoiles carbonées	Etudes stellaires : diamètres apparents, éclat intrinsèque, températures effectives Einstein et l'Univers	
1922	effet Einstein interférométrie : diamètres des étoiles	Pression des atmosphères solaire, stellaires Pouvoir absorbant des atmosphères stellaires (avec PICART Luc)	Photométrie hétérochrome	
1923	interférométrie : diamètre des astres faibles			
1924	évolution des étoiles		Einstein	
1925	VR des étoiles spectroscopie stellaire	Indépendance vitesse de la lumière / source	Théorie balistique des étoiles à variable continue	

Tableau 2 : Thèmes de recherche de Hamy, Salet, Nordmann et Millochau d'après leurs publications dans les *CRAS*

Il apparaît qu'à l'OP, ces quatre scientifiques s'intéressent à des sujets originaux et développent des méthodes non étudiées ailleurs en France. Ce sont tout d'abord beaucoup de travaux qui se rapportent à l'étude des étoiles : celles-ci sont étudiées directement, et non par simple analogie avec le Soleil suivie d'une généralisation. Ensuite, le côté instrumental apparaît primordial : de nombreux instruments sont mis au point dans le but de mesurer la température des étoiles et leur éclat, d'enregistrer leurs spectres, de mesurer l'état électrique de l'atmosphère terrestre en lien avec l'activité solaire, etc. Les méthodes utilisées apparaissent souvent novatrices : interférométrie pour la détermination des diamètres stellaires, étude de la polarisation du Soleil, mesures photométriques, application des ondes hertziennes et de résultats récents dans le domaine de l'électromagnétisme en astronomie (pour le Soleil, les nébuleuses). Et après la première guerre mondiale, Hamy, Salet et Nordmann montreront un intérêt manifeste, voire un fort engouement, pour les nouvelles idées apportées par Einstein concernant l'Univers.

On peut donc observer que l'accent est mis à l'OP sur des techniques peu utilisées dans le par l'AP française contemporaine. Hamy s'intéresse par exemple à l'interférométrie, dans la lignée des idées émises par Fizeau et reprises par Stephan dans les années 1870. Hamy, après avoir pris appui sur les travaux de Cornu ou Michelson, aboutit, après une longue étude mathématique, à une méthode pratique permettant la détermination du diamètre des astres : « En résumé, pour mesurer le diamètre d'un astre, en s'appuyant sur le principe de M. Fizeau, on recouvre l'objectif de la lunette d'observation d'un écran muni de deux fentes rectangulaires, parallèles, égales et d'écartement variable. On cherche à faire évanouir les franges qui se forment au foyer de l'instrument en écartant progressivement les fentes supposées réunies au point de départ. Lorsque les franges qui correspondent à la lumière de longueur d'onde λ disparaissent, on mesure la distance l des centres des fentes. Le diamètre a pour valeur $\varepsilon = 1'',22 \frac{\lambda}{l \sin 1''}$ »[963]. Hamy vise alors à améliorer le dispositif de façon à augmenter la visibilité des franges, qui sont en fait difficiles à discerner de par la faible quantité de lumière envoyée par les astres. Ainsi, alors que la formule ci-dessus, donnée par Michelson, est valable pour une largeur des fentes petite par rapport à l'écartement de leurs centres, Hamy la corrige pour une largeur non négligeable par rapport à leur écartement[964]. Il

[963] HAMY, Maurice, « Sur la mesure des faibles diamètres », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.10, 1893, p.503.
[964] Voir HAMY, Maurice, « Sur la mesure des petits diamètres », *CRAS*, t.127, 1898, p.851-854.

peut alors, durant l'été 1898, procéder à une vérification des mesures faites par Michelson en 1890 sur les satellites de Jupiter, faute de pouvoir appliquer la méthode sur des astres faibles, comme les étoiles[965]. Ce n'est ensuite qu'en 1922 que Hamy reprend le problème, à l'occasion de recherches sur la diffraction des images des astres circulaires : il se posera la question de la détermination des diamètres stellaires lorsque l'éclat du disque n'est pas uniforme[966]. Il est intéressant de noter à propos de la méthode interférométrique que Hamy, comme Cornu avant lui, vise également l'utilisation d'un phénomène optique pour minimiser les erreurs de mesure. Ainsi, dès 1895, Hamy a appliqué cette méthode interférométrique non dans un but purement astronomique, mais pour examiner l'état des tourillons d'une lunette méridienne, de façon à déceler des irrégularités entraînant des perturbations dans l'axe de rotation de la lunette.

De son côté, Salet va s'intéresser aux applications astronomiques de la polarisation de la lumière, phénomène dont il fera l'objet de sa thèse en 1910. Il fait bien remarquer le caractère original et marginal de sa démarche :

> L'Astronomie physique a été véritablement transformée vers 1860, par l'application aux astres de l'analyse spectrale. Cette merveilleuse méthode a ouvert un champ immense aux recherches scientifiques et l'on peut dire que les données fournies par le spectroscope constituent actuellement la base de presque toute l'Astrophysique. […] Mais l'analyse complète de la lumière qui nous vient des astres ne comprend pas seulement la Spectroscopie et la Photométrie. On peut aussi étudier la polarisation et encore ce qu'on pourrait appeler la *spectropolarisation*, c'est-à-dire la polarisation des rayons de différentes longueurs d'onde qui forment un faisceau complexe.[967]

Les travaux de Salet sur la polarisation concernent surtout le Soleil, et en particulier la couronne et les protubérances, mais aussi les comètes, la lune et les planètes. Salet indique que, suite aux travaux d'Arago dans les années 1840, peu de perfectionnements importants ont été apportés aux polariscopes ou polarimètres. Il réfute alors l'idée que le sujet soit stérile, et tente de démontrer que l'étude polariscopique du ciel pourra donner lieu à de nombreux

---

[965] Bosler note que ce n'est qu'en 1920 que Michelson adaptera son interféromètre stellaire au télescope de 2,50 m du Mont Wilson. En dépit de l'espoir apporté par la possibilité de faire interférer des faisceaux provenant de deux objectifs différents, et donc de s'abstraire de la nécessité d'un grand objectif, Michelson préférera la solution d'un appareil de grande dimension. Ainsi, en 1920-21, Michelson et Pease seront en mesure de donner les diamètres de Bételgeuse, Arcturus ou Antarès, ainsi que de distinguer des étoiles doubles très serrées.

[966] HAMY, Maurice, « Sur la détermination par la méthode interférentielle des diamètres des étoiles dont l'éclat superficiel n'est pas uniforme », *CRAS*, t.174, 1922, p.342-345.

[967] SALET, Pierre, « Sur l'étude de la polarisation en astronomie », *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.27, 1910, p.C1.

travaux. Le préalable de ses recherches semble être tout d'abord l'étude de la polarisation atmosphérique, celle-ci pouvant perturber les recherches purement astronomiques : il cite alors souvent les travaux de Cornu, qui apparaît comme un précurseur de premier plan[968], tant pour les observations que pour l'innovation instrumentale. Sur ce dernier point, Salet se démarque de Cornu : le photopolarimètre de Cornu lui est en effet apparu moins sensible que le polariscope de Savart, qu'il emploiera alors monté sur une lunette[969]. A l'aide de cet appareil, il commence par étudier le Soleil lors de l'éclipse de 1905, qu'il observe en Algérie. Concernant le Soleil, son mémoire de 1910 sur la polarisation en astronomie propose alors les résultats suivants :

- Alors qu'aucune observation polariscopique dans le Soleil ne fut faite entre Arago et Hale en 1908, Salet indique que dès 1905, il avançait l'idée d'un champ magnétique solaire, dirigé suivant son axe et produit par le mouvement de rotation des particules électrisées entourant le Soleil : « Le mouvement tourbillonnaire de la surface autour des taches produirait le champ magnétique décelé par l'effet Zeeman, tandis que le mouvement de rotation de la sphère entière autour de son axe créerait le champ solaire. »[970] Ce champ devrait alors avoir pour effet de dévier le plan de polarisation, idée que Salet emprunte aux travaux de Henri Becquerel concernant la déviation du plan de polarisation atmosphérique par le champ magnétique terrestre.
- Dans la lignée de multiples observations de la polarisation de la couronne et des protubérances (D'Abbadie, Liais, Prazmowski, Secchi, Lockyer, Harkness et Wright, Newall et Turner, entre autres), Salet s'intéresse lors de l'éclipse de 1905 à la distribution et l'intensité de la lumière polarisée de la couronne (par le procédé de déviation du plan de

---

[968] Salet cite ainsi les travaux de Cornu sur le sujet, publiés dans les Comptes Rendus de l'AFAS : CORNU, Alfred, «Sur l'application du photopolarimètre à la météorologie », *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1890, , p.267-270. On peut aussi consulter : CORNU, Alfred, « Sur la proportion de lumière polarisée par réflexion sur les corps d'indice voisin de l'unité. Application à l'illumination des corps transparents », *Comptes Rendus de l'AFAS*, vol.11, 1882, p.221-223 ; CORNU, Alfred, « Sur un nouveau polarimètre », *Comptes Rendus de l'AFAS*, vol.11, 1882, p.253-255.

[969] Le photopolarimètre de Cornu, que ce dernier décrit dès 1882, est constitué d'un prisme biréfringent de Wollaston donnant deux images polarisées à angle droit d'une ouverture rectangulaire et d'un nicol analyseur monté sur un tambour divisé et permettant d'établir l'égalité des deux images. Le polariscope de Savart se compose quant à lui de deux plaques de quartz de même épaisseur et taillées suivant la même direction. Ces lames sont placées de façon que leurs sections principales soient rectangulaires et sont suivies d'un analyseur dont la section principale est parallèle à la bissectrice des sections principales des deux lames. Lorsqu'un faisceau divergent de lumière polarisée tombe sur le polariscope, on observe une série de franges rectilignes et colorées, parallèles à la bissectrice des sections principales des deux lames. (description d'après VERDET, E., *Leçons d'optique physique*, t.2, Masson, 1872, p.162-163.)

[970] SALET, Pierre, « Sur l'étude de la polarisation en astronomie », *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.27, 1910, p.C19.

polarisation vu ci-desssus). Il étudie également la spectropolarisation[971] de la couronne, ceci devant permettre de trouver de nouvelles radiations monochromatiques d'origine coronale de façon à pouvoir résoudre le problème de l'observation hors éclipse de la couronne. Salet, préfigurant le travail de Lyot, écrit d'ailleurs au sujet de l'utilisation de la polarisation appliquée à l'imagerie coronale qu' « elle permettra seule de photographier les radiations monochromatiques les plus faibles de la couronne »[972].

Après le Soleil, qui occupe la place plus importante de on mémoire, Salet évoque d'autres recherches polariscopiques :

- sur l'étude des comètes : recherche de l'origine de la lumière du noyau et de la queue (lumière propre ou réfléchie). Salet, contre la théorie de la pression de radiation dite Maxwell-Bartoli, abonde dans le sens de la théorie ionistique, à savoir l'existence pour les comètes d'une charge électrique non nulle. Salet cite à l'appui de ses idées les travaux de Henri Chrétien : le mouvement des particules des queues cométaires est expliqué par une force créée par le champ magnétique solaire, force perpendiculaire à la direction de la vitesse des particules et à celle du champ magnétique.
- En ce qui concerne la polarisation de la Lune et de Mercure, Salet affirme l'absence de polarisation de Mercure, et évoque pour cette planète et pour la Lune, des vues également originales, qui seront étudiées quelque vingt ans plus tard par Lyot : « Il sera intéressant, au point de vue de la Physique pure, de mesurer avec un photopolarimètre la proportion de lumière polarisée et de voir comment cette quantité varie avec l'inclinaison de la surface et avec la nature du corps diffusant. Nous ne croyons pas, en effet, que cette expérience ait jamais été faite. »[973]

En ce qui concerne Nordmann, nous insisterons plus particulièrement sur ses travaux sur les ondes hertziennes ainsi que sur la photométrie hétérochrome.

Entre 1900 et 1906, Nordmann s'intéresse de près aux ondes hertziennes, et tente d'expliquer un grand nombre de faits célestes suscitant à cette époque de nombreuses interrogations. Il se base alors sur la théorie électromagnétique de Maxwell, et les travaux plus récents de Planck ou d'Ebert, pour importer dans le domaine de l'AP ce domaine d'études peu étudié en

---

[971] Salet définit ainsi le terme 'spectrpolarisation' : « étude de la polarisation des diverses radiations d'une source complexe ». *Ibid.*, p.C42.
[972] *Ibid.*, p.C44.
[973] *Ibid.*, p. C58.

France : « Il semble donc que la justesse des idées de Maxwell soit à peu près démontrée ; la plupart des physiciens pensent actuellement que la lumière est un phénomène électromagnétique, et les plus modernes théories de l'émission (celle de Planck et celle d'Ebert, par exemple) ont à leur base cette hypothèse. […] Les propriétés fondamentales des ondulations électromagnétiques sont aujourd'hui suffisamment connues pour que nous puissions essayer de montrer, d'une manière précise, le haut intérêt qu'il y aurait à les faire intervenir en Physique céleste »[974]. En partant donc de l'idée, d'ailleurs soutenue par Poincaré, d'une identité de nature entre les divers rayonnements connus, qui ne se distinguent que par des « différences de degrés »[975], Nordmann postule comme extrêmement vraisemblable l'émission d'ondes hertziennes par le Soleil. Il tentera d'ailleurs, au Mont Blanc, une preuve directe de leur existence, malheureusement sans succès[976]. Cependant, à l'instar de Deslandres, il met en avant le fait que seule une action électrique ait pu, jusqu'à présent, montrer les raies de l'hydrogène décelées dans la couronne solaire, pour stipuler l'origine électrique de la couronne. Il peut ainsi écrire que « nous pensons que ce sont les ondes hertziennes du Soleil qui illuminent les gaz de la couronne, conformément à la propriété connue de ces ondes. » Ensuite, face au problème de la nature de la lumière émanée des comètes, Nordmann va se baser sur les travaux de Ebert et Wiedemann. En effet, il s'agit dans ce cas d'expliquer l'absences de bandes spécifiques dans le spectre des comètes, bandes également inexistantes dans le spectre des hydrocarbures obtenu à basse température ; or, selon Ebert et Wiedemann, les phénomènes de luminescence produits dans les gaz raréfiés par les ondes hertziennes présentent les mêmes apparences que les phénomènes produits à basse température par les décharges disruptives : « les ondes hertziennes émanées du Soleil doivent donc être l'agent de l'incandescence des gaz cométaires »[977]. Par le même raisonnement, Nordmann apporte des tentatives d'explication de phénomènes terrestres comme les tempêtes magnétiques et les aurores boréales, mais aussi de phénomènes célestes comme les nébuleuses ou les novae. A une époque où le terme « nébuleuse » rassemble des objets que nous savons aujourd'hui être de nature fort différente, Nordmann propose une explication basée sur la théorie de J.-J. Thomson, à savoir l'existence d'une pression critique pour laquelle l'illumination par les ondes hertziennes d'un gaz raréfié est la plus intense. Sur ce principe, il avance l'idée que les différences d'apparences entre nébuleuses planétaires,

---

[974] NORDMANN, Charles, «Recherches sur le rôle des ondes hertziennes en astronomie physique», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.379.
[975] *Ibid.*
[976] Ce n'est qu'en 1942 que cette émission d'ondes hertziennes par le Soleil sera détectée.
[977] *Ibid.*, p.383.

spirales ou à forme irrégulière, proviennent d'une inégale illumination électrique des nébuleuses par les ondes hertziennes rayonnées dans l'espace par les étoiles, causée par les pressions différentes existant au sein du gaz : « […] quand, au centre, la pression est plus grande que la valeur critique, la zone d'illumination maxima est extérieure et affecte une forme annulaire (nébuleuses de la Lyre, du Cygne, etc.) ; quand la rotation de la nébuleuse y produit des mouvements cycloniques, les portions de gaz qui possèdent la pression critique et qui sont en même temps les zones de la plus grande illumination affectent des formes en spirale (nébuleuse des Chiens de chasse, de la Grande Ourse, etc.) »[978]. Mais finalement, Nordmann doit se prémunir, comme de coutume en ce qui concerne des questions cosmogoniques, contre le caractère spéculatif de ses travaux : « Si cette théorie a, à sa base, une hypothèse, on peut dire que cette hypothèse est logiquement déduite de l'analyse spectrale des astres et de la théorie électromagnétique de la lumière ; elle n'est en contradiction, semble-t-il, avec aucun fait connu »[979]. Nous verrons d'ailleurs plus loin comment ses idées ont pu entrer en concurrence avec celles de Deslandres.

Après ces recherches, Nordmann poursuit par des travaux sur l'ionisation atmosphérique dont il réalise des mesures à l'aide d'un ionographe qu'il concevra vers 1905. Et à partir de 1906, il change de sujet pour investir le domaine de la photométrie stellaire, ce qui semble coïncider avec son arrivée à l'OP en tant qu'astronome adjoint.

C'est dans le but d'étudier la dispersion de la lumière dans le vide que Nordmann envisage une méthode particulière, à savoir photométrique. A partir de l'hiver 1905-1906 à l'OP, puis en 1907 et 1908 à Biskra en Algérie, Nordmann entreprend donc de reprendre ce problème délaissé depuis Arago. Ainsi, c'est initialement un problème d'optique dans l'esprit d'Arago, qui devient chez Nordmann un sujet d'étude purement astronomique : si Arago entreprit effectivement l'étude d'étoiles blanches périodiques de façon à estimer les différences de vitesse des divers rayons lumineux, du rouge au violet, Nordmann vise pour sa part l'étude de la dispersion cosmique. Il en vient à utiliser son appareil pour aborder le problème de la constitution physique des systèmes stellaires, et apporte des éléments au problème des formes d'équilibre d'une masse fluide en rotation étudié par Poincaré, que nous avons vu précédemment[980]. Il termine finalement par une étude spécifique des étoiles permettant la mesure du rayonnement global de ces astres, la détermination de la température des étoiles par

---

[978] *Ibid.*, p .388.
[979] *Ibid.*
[980] NORDMANN, Charles, « L'espace céleste est-il un milieu dispersif ?», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.5-37.

mesure du rapport d'intensité relative de la lumière dans diverses régions spectrales, l'étude de l'absorption atmosphérique terrestre[981], et l'étude du mécanisme des étoiles variables. Ainsi, le travail de Nordmann apparaît clairement comme le transfert et la réactivation de considérations purement centrées dans la première moitié du XIX^{ème} siècle sur le domaine de l'optique, vers un champ disciplinaire nouveau au début du XX^{ème} siècle. Et à ce titre, Nordmann fait figure de précurseur et tente d'imposer, comme Salet vis-à-vis de la polarisation, la nécessité de reprendre une technique ancienne mais peu développée : « La mesure exacte des rayonnements est, au même titre que celle de leurs positions, la base indispensable à notre connaissance de l'Univers stellaire. Et cependant, si l'on met à part le Soleil dont la lumière gigantesque a permis de lui appliquer les procédés les plus délicats d'analyse et de mesure, il faut convenir que l'Astrophotométrie est encore à l'heure actuelle une science à peine ébauchée. »[982] On peut alors supposer que la polarisation et la photométrie, toutes deux inexploitées depuis Arago, ont pu constituer une voie d'entrée alternative pour des chercheurs désireux d'intégrer un champ d'études largement dominé, que ce soit scientifiquement ou institutionnellement, par Deslandres à Meudon.

C'est donc dès 1906 que Nordmann met au point son photomètre stellaire hétérochrome. Cet appareil fournit l'image de l'étoile étudiée en même temps que l'image d'un astre artificiel produite par une lampe électrique alimentée par des accumulateurs et réglée au moyen d'un rhéostat et d'un voltmètre. L'égalité des deux lumières est obtenue à l'aide de deux nicols, puis est interposée sur le trajet des deux faisceaux lumineux une série d'écrans colorés (trois différents, obtenus grâce aux résultats obtenus à la même époque en chimie sur l'aniline, selon Nordmann) permettant de ne laisser passer qu'une région bien définie du spectre. Ainsi, les teintes des deux sources lumineuses à comparer (l'étoile réelle et l'étoile artificielle) sont identiques, ce qui permet d'obtenir les rapports d'intensité des étoiles en fonction de la longueur d'onde[983].

---

[981] Nordmann écrit par exemple que « L'étude de l'absorption atmosphérique […] joue en Astrophysique un rôle analogue à celui de la réfraction dans l'Astronomie de position ». Voir NORDMANN, Charles, « Introduction à la photométrie hétérochrome des astres», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.171.

[982] *Ibid.*, p.158.

[983] Cet appareil sera décrit par Jean Bosler en 1923 : BOSLER, Jean, *L'Evolution des Etoiles*, Libraire scientifique Albert Blanchard, Paris, 1923, p.25-27. Plus récemment, J.B. Hearnshaw, dans son ouvrage consacré à l'histoire de la photométrie astronomique, décrit aussi le photomètre de Nordmann : HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge University Press, Cambridge, 1996, p.101-103.

<u>Fig. 3.3.1</u> : Le photomètre stellaire hétérochrome de Charles Nordmann
<u>Source :</u> NORDMANN, Charles, « L'espace céleste est-il un milieu dispersif ?», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.11.

Appliqué au petit équatorial coudé de l'OP (de 270 mm de diamètre), Nordmann peut, dès 1909, donner les températures effectives d'un certain nombre d'étoiles. On constate alors que les résultats de Nordmann sont à placer dans le cadre de la loi de Planck, qui donne l'intensité du rayonnement d'un corps noir en fonction de la longueur d'onde, pour différentes températures : $E(\lambda, T) = C.\lambda^{-5}.\frac{1}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}$. Car Nordmann mesure en fait les intensités R et B des images obtenues pour deux radiations, bleue et rouge, puis représente graphiquement $\log \frac{R}{B}$ en fonction de $\frac{1}{T}$. L'étalonnage de son appareil est réalisé au moyen de trois fours différents et du cratère positif de l'arc électrique (donc pour $1408\ K \leq T \leq 3616\ K$), puis extrapolé à l'aide de la formule de Planck. Il obtient ainsi une droite qui lui sert ensuite à obtenir la température de chaque étoile après mesure de R et B : dès 1909, Nordmann avance, dans les *CRAS*, les températures de quinze étoiles, qu'il corrige à la baisse deux mois plus tard. Notamment, pour le Soleil, il a avancé en octobre 1909 5990 K, puis 5320 K en décembre de la même année.

<u>Fig. 3.3.2</u> : Résultats de photométrie stellaire obtenus par Charles Nordmann
<u>Source :</u> NORDMANN, Charles, « Nouvelle approximation dans l'étude des températures effectives des étoiles », *CRAS*, t.149, 1909, p.1039 ; NORDMANN, Charles, « Méthode permettant la mesure des températures effectives des étoiles. Premiers résultats », *CRAS*, t.149, 1909, p.560.

En définitive, le travail photométrique de Nordmann concernant la température effective des étoiles constitue un programme conséquent et original qui lui permet d'organiser et de diriger à partir de 1920 un service d'astronomie hétérochrome à l'OP, et qui suscite dès le début l'intérêt de certains astronomes. Ainsi, Bigourdan, soutenant Nordmann pour une entrée à l'Académie des Sciences, écrit en 1911 à d'Arsonval que « Par l'invention d'un photomètre

hétérochrome il a permis en effet, d'étudier 100 fois plus d'étoiles qu'on ne le pouvait jusqu'ici […] »[984].

Les contributions personnelles de Millochau sont plus restreintes. Il s'intéresse surtout aux effets spectraux des décharges électriques dans les gaz, et participe, avec le physicien Charles Féry, à la mesure de la température solaire grâce à un télescope pyrométrique. Cet appareil, destiné à la détermination dans l'industrie de la température des fours, comprend deux fils métalliques placés l'un sur l'autre en forme de croix et soudés à leur point de jonction, puis positionnés au foyer d'un télescope : « L'observateur regardant à l'oculaire voit donc quelle est la portion de l'image dont il cherche à évaluer le rayonnement. Il suffit, pour cela, de lire un galvanomètre relié au réticule »[985] Comme pour le photomètre hétérochrome de Nordmann, le télescope pyrométrique de Féry est basé sur les nouvelles lois du rayonnement (lois de Stefan, 1879, et de Wien, 1893), et vient remplacer les anciens actinomètres ou pyrhéliomètre qui utilisaient l'élévation de température d'un corps de masse et de capacité calorifique connues pour en déduire la quantité d'énergie reçue du Soleil sur une surface donnée. De même, la conception de l'appareil est la conséquence des progrès réalisés dans le domaine des fours électriques (pour l'étalonnage), ces derniers pouvant être avec une bonne approximation assimilés à des corps noirs, c'est-à-dire des corps absorbant de façon identique toutes les radiations. Transportant l'appareil à l'observatoire du mont Blanc, Millochau effectue en 1906 et 1907 « plus de 750 pointés sur la surface solaire de Chamonix au sommet, et à cette dernière station à des distances zénithales diverses. Il a obtenu 5550° comme température apparente au centre du Soleil, en employant le coefficient de transmission zénithale 0,91 auquel l'avaient conduit ses nombreuses mesures » [986].
Concernant son étude de la décharge intermittente, Millochau va reprendre à l'OP un travail entamé à Meudon suite à l'examen spectroscopique des gaz récupérés avec Janssen au

---

[984] « Lettre de Bigourdan à d'Arsonval le 14 mai 1911 Paris », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.
[985] MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.135.
[986] FERY, Charles, « Les lois du rayonnement et leur application correcte », *Annales de Chimie et de Physique*, 8ème série, t.17, 1909, p.288. Féry souligne que l'absorption du rayonnement par l'atmosphère terrestre est de 24 %, valeur plutôt faible s'expliquant par le fait que le maximum de l'énergie solaire correspond à une partie lumineuse du spectre où la vapeur d'eau produit son effet minimum. La mesure qu'il avance est le rapport entre la valeur trouvée par Millochau et celle réalisée par le National Physical Laboratory à Teddington, où l'appareil fut réétalonné, après les ascensions de Millochau au mont Blanc, sur un four électrique à 1 600 K. Par la suite, Féry avancera dans les *CRAS* le projet d'un appareil permettant d'évaluer la température des étoiles d'après leur couleur : « Les radiations des étoiles sont comparées à celles d'une petite lape étalon, dont on peut faire varier la teinte en déplaçant la longueur d'onde dominante du spectre qu'elle fournit. » *CRAS*, t.149, 1909, p.587.

Vésuve[987]. Il est alors conduit à s'intéresser au mode de décharge dans les tubes à vide, et utilise à cette occasion un appareil imaginé par Janssen en 1888 : cet appareil est constitué d'un système particulier d'électrodes, nommé 'exploseur capillaire'. L'image de l'étincelle produite entre deux fils métalliques de 2 mm de diamètre est projetée par un objectif sur une pellicule circulaire fixée sur un disque en rotation. Ses notes sur ce sujet, présentées par Gabriel Lippmann ou Edmond Bouty à l'Académie des Sciences, l'amènent notamment à des conclusions sur la production des spectres en rapport avec la température de la « molécule vibrante » et ses effets de dissociation : en effet, les étincelles qu'il obtient sont non seulement étudiées pour leurs formes, mais également analysées par un spectroscope, Millochau ayant observé en 1906 que les étincelles se répartissaient en groupe présentant des analogies avec les groupement des lignes dans les spectres de bandes. On peut penser que ces recherches ont pu constituer le sujet de la thèse que Millochau envisageait, après qu'il ait obtenu en 1909 sa licence à la Sorbonne, où il a du fréquenter Lippmann et Bouty.

Pour conclure sur la nature des travaux réalisés par chacun de ces astronomes de l'OP, il paraît intéressant de regarder de quelle façon ces savants ont travaillé les uns avec les autres. Il ressort notamment que les étoiles ont constitué un réel champ d'études qui a donné lieu à un travail en équipe : les étoiles, contrairement à la méthode analogique basée sur l'étude du Soleil que pratique Deslandres, sont observées et analysées pour elles-même, au point de vue de leur mouvement radial à l'aide d'un spectrographe, ou de la constitution de l'atmosphère qui les entoure. En 1921, Hamy publie un mémoire sur le travail réalisé depuis au moins 1911, où il fait le constat de la volonté exprimée par Loewy de poursuivre après le départ de Deslandres, en 1898, la spectroscopie stellaire à l'OP. Mais ce n'est que peu avant la mort de Loewy en 1907 que le spectrographe mis au point par Hamy fut construit par Gautier. De plus, Hamy rencontre le problème d'un matériel non consacré uniquement à ce projet car « Loewy, voulant se réserver la faculté d'affecter, à tout instant, l'équatorial coudé à la photographie du ciel, décida malheureusement de laisser en place toutes les pièces en service, dans le travail concernant la photographie de la Lune, même les plus encombrantes »[988]. Après 1907, Hamy peut donc un réaliser un travail de spectroscopie stellaire conséquent,

---

[987] Voir : MILLOCHAU, G., «Contribution à l'étude de la décharge intermittente», *CRAS*, t.142, 1906, p.665-666 ; «Contribution à l'étude des effets spectraux des décharges électriques dans les gaz et les vapeurs», *CRAS*, t.153, 1911, p.808-812 ; «Contribution à l'étude des effets diélectriques dans les gaz. », *CRAS*, t.154, 1912, p.1695-1697.

[988] HAMY, Maurice, «Le spectrographe stellaire», *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.32, 1925, p.B2.

dépendant au préalable de l'adaptation de l'équatorial coudé à cet objectif, celui-ci fournissant des images focales « laissant fréquemment à désirer. »[989], en raison de sa grande sensibilité aux changements de température. C'est sur ce point que Hamy travaille notamment: le spectrographe est enfermé successivement dans des caisses en fonte, en laiton, et en cuivre. De plus, la température est maintenue constante à l'aide d'un régulateur commandé par une résistance électrique.

Fig. 3.3.3 : Chambre d'observation du grand équatorial coudé de l'Observatoire de Paris et spectrographe stellaire de M. Hamy
Source : MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.45.

Hamy indique clairement la participation de Salet et de Millochau à ses recherches: « La plus grande partie des observations ont été faites par M. Millochau qui m'a de plus assisté, dans les vérifications quotidiennes des réglages du spectrographe et de sa mise au foyer. Le surplus est l'œuvre de M. Salet. Ces deux astronomes ont mesuré les spectrogrammes par comparaison avec des spectres solaires, exactement de même échelle et d'intensité graduées, que j'ai obtenus personnellement au spectrographe, toutes les fois que l'état de l'atmosphère l'a permis »[990].

Fig. 3.3.4 : Quelques résultats obtenus au spectrographe stellaire de M. Hamy (observateurs : M = Millochau ; S = Salet)
Source : HAMY, Maurice, «Le spectrographe stellaire», *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.32, 1925, p.B32 ; B40 ; B41.

Finalement, entre 1911 et 1914, un grand nombre de mesures de vitesses radiales seront réalisées sur Arcturus, β Andromède, γ Andromède, α Bélier, α Persée, α Taureau, β et α Orion, etc.
De même, la méthode photométrique de Nordmann est employée notamment par Salet qui écrit en 1921, qu' « Au cours d'une étude générale des divers types stellaires, nous avons déterminé, autrefois, par la méthode des écrans colorés de M. Nordmann, les intensités

[989] *Ibid.*
[990] *Ibid.*, p. B1.

globales des parties rouge, verte et bleue de leur spectre. Nous sommes amenés à parler aujourd'hui de ces mesures parce que les observations publiées récemment par M. Nordmann ne contiennent pas d'étoiles de ce type »[991]. Les travaux de Nordmann et de Salet sont également complémentaires si l'on regarde leur intérêt pour l'absorption de la lumière dans divers milieux célestes. Dans ce domaine, Salet fait œuvre pionnière : ses réflexions sur l'absorption, dans l'espace, de la lumière émise par les étoiles, aboutissent à des considérations sur la structure de l'Univers, le nombre des étoiles, l'hypothèse des Univers-îles.[992] On peut alors avancer que les travaux des uns et des autres se répondent et se font écho : dès 1902, Salet écrit au sujet des étoiles que « nous n'avons encore aucune connaissance de leurs diamètres apparents, ni de leur éclat intrinsèque, ce qui nous prive de tout moyen de déterminer leurs volumes ou leurs densités »[993]. Les travaux interférométriques de Hamy sur le diamètre des étoles, la photométrie hétérochrome de Nordmann apportant des déterminations de températures stellaires, la mesure des vitesses radiales des étoiles, l'application des ondes hertziennes aux novae, etc. : l'ensemble de ces travaux convergents nous invite à postuler l'existence d'un groupe qui fait fonctionner la complémentarité et qui, s'il ne vise peut-être pas un programme commun, cultive tout du moins des préoccupations identiques.

3.3.3 Une communauté active, sans véritable reconnaissance en France : analyse d'une situation paradoxale

Malgré la diversité et l'originalité des études que ce groupe mène à l'OP, il apparaît une situation paradoxale : ce dynamisme manifeste ne fera pas école, à tel point que les travaux entrepris et les thèmes abordés ne seront pas repris immédiatement ; et quand ils le seront durant l'entre-deux guerres, peu de références à ce groupe seront faites. Nous allons ainsi développer cette tension qui voit, d'un côté, la volonté de publier des ouvrages de synthèse des méthodes concernant l'AP, voire de 'vulgariser' auprès d'un public large les dernières

---

[991] SALET, Pierre, « Sur la spectrophotométrie des étoiles carbonées », *CRAS*, t.173, 1921, p.828.
[992] Voir : SALET, Pierre, « L'attraction dans l'univers stellaire », *Bulletin Astronomique*, vol.19, 1909, p.227-236 ; « Sur l'absorption de la lumière des étoiles par les météorites », *Bulletin Astronomique*, vol.28, 1911, p.241-251 ; « Les Univers-îles », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.37, 1926, p.168-174.
[993] SALET, Pierre, « L'attraction dans l'univers stellaire », *Bulletin Astronomique*, vol.19, 1909, p.229-230

recherches dans le domaine ; mais qui, de l'autre, connaît certaines critiques, voire un isolement institutionnel.

Le tableau 1 ci-dessus montre tout d'abord les réussites individuelles de ces savants. Hamy devient répétiteur de physique à l'Ecole Polytechnique en 1902, astronome titulaire à l'OP en 1904, académicien en 1908, examinateur d'astronomie à l'Ecole Polytechnique en 1919. Son poids institutionnel semble ainsi suffisant pour qu'en 1912, à l'occasion d'une éclipse totale, il parvienne à mobiliser près de 400 élèves polytechniciens dans le but de faire des observations systématiques sur une perpendiculaire à la ligne de l'éclipse centrale : « Certains d'entre eux, placés de 500 mètres en 500 mètres, avaient à observer et à fixer les instants précis des contacts des deux bords de la Lune (bord antérieur et bord postérieur) avec le Soleil au moment de la totalité de l'éclipse »[994]. Nordmann sera, pour sa part, lauréat de l'Institut deux années de suite (1907 puis 1908), chargé de conférences de météorologie électrique à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes et professeur à l'Ecole d'Horlogerie et de Mécanique de Précision en 1911, secrétaire de la Commission Supérieure des Inventions intéressant la Défense Nationale en 1919, chef du Service de photométrie hétérochrome de l'OP à partir de 1920, puis chargé d'un cours d'AP à Buenos Aires en 1928[995]. Concernant son apport à la discipline, Nordmann estime d'ailleurs en 1911 que « A l'exception de quelques-unes qui sont relatives à la Physique pure, la plupart de mes recherches ont été consacrées à l'Astronomie physique. Mes travaux de Géophysique eux-mêmes ont tous été dominés par cette idée dont je crois avoir peut-être contribué à montrer l'exactitude et la fécondité : que toutes les manifestations du magnétisme terrestre et de météorologie générale sont tous sous la dépendance étroite du Soleil et que leur étude ne saurait être fructueusement indépendante de la sienne »[996]. Enfin, Salet sera titularisé en 1927 où il remplacera Hamy. Bosler, à sa mort en 1936, note avec conviction la diversité des travaux de Salet, et aussi son caractère encyclopédique peu en accord avec l' « incuriosité » des astronomes de son époque : « Il n'est pas de grande question, si élevée fût-elle – théorie d'Einstein, milieux cosmiques résistants, état physique des atmosphères stellaires, théories de la lumière et de la production des spectres…..- où il ne soit parvenu, par quelque remarque ingénieuse ou profonde, trop souvent, hélas, restée inaperçue, à apporter sa pierre au vaste édifice de l'Astronomie »[997].

---

[994] *L'Année Scientifique et Industrielle*, 56ème année (1912), 1913, p.6-7.
[995] Nordmann est fait chevalier de la légion d'honneur en 1912 (puis officier en 1918).
[996] « Notice sur les travaux scientifiques de M. Nordmann, 1911 », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.
[997] BOSLER, Jean, «Pierre Salet (1875-1936)», *L'Astronomie*, 1937, p.461.

Contrairement aux savants que nous avons identifiés précédemment comme les représentants les plus visibles de l'AP, à cette époque, Salet, Nordmann et Millochau vont s'investir dans la rédaction d'ouvrages spécialisés ou de vulgarisation. Salet, en 1909, publie un livre de synthèse sur la spectroscopie astronomique destiné à rassembler, pour un public averti, les notions les plus récentes sur une technique fondatrice de l'AP. Son ouvrage paraît dans l'*Encyclopédie Scientifique* du Docteur Toulouse, dont la partie d'astronomie et physique céleste est dirigée par Jean Mascart. Ce dernier note l'esprit de la collection, et en particulier pour l'astronomie : destinée à tous les savants non spécialisés, aux amateurs, aux élèves, elle sera aussi « aux maîtres de l'enseignement […] d'un secours indispensable, épargnant la perte de temps et les recherches pénibles sur lesquelles doit s'appuyer la synthèse […] »[998]. Bosler note comment cet ouvrage a pu constituer à cette époque un service rendu à la communauté astronomique dans son entier : « Bien des notions aujourd'hui courantes étaient, il y a trente ans, ignorées de la plupart des astronomes et c'était, de toute façon, leur rendre un grand service que de mettre à leur portée une foule de données théoriques ou de détails instrumentaux qui se trouvaient alors disséminées partout »[999].

A l'étranger, l'accueil est chaleureux si l'on en croit la critique qui en est faite dans l'*Astrophysical Journal* : « Le livre est à recommander aux astronomes et aux physiciens – les astrophysiciens se le procureront tout naturellement […] »[1000]. L'année suivante, c'est Millochau qui publie un ouvrage de vulgarisation astronomique, destiné « non seulement au grand public, mais aussi aux élèves de nos établissements scolaires, insuffisamment documentés par quelques trop brèves leçons de cosmographie, un ouvrage qui les encourageât dans cette tâche »[1001]. Son livre est extrêmement précis sur les dernières découvertes dans le domaine de l'AP : il y mentionne les recherches très récentes de Hamy sur la spectroscopie stellaire, les travaux de Nordmann sur les températures des étoiles à l'aide de son photomètre hétérochrome, les résultats obtenus sur le Soleil à l'aide du spectrohéliographe, les découvertes sur les surfaces planétaires à l'aide de ses propres observations à la grande lunette de Meudon, etc. Cette publication est, de toute évidence, l'occasion pour Millochau de s'imposer auprès d'un public large, mais aussi de régler, en creux, ses comptes avec certains : jamais Millochau ne mentionne les travaux de Deslandres, pourtant le spécialiste, en France,

---

[998] MASCART, Jean, in SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909, p.V.
[999] BOSLER, Jean, *op.cit.*, p.460-461.
[1000] *The Astrophysical Journal*, vol.31, 1910, p.280.
[1001] MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.V.

du Soleil, et figure emblématique de l'AP française. Enfin, Nordmann, publie également des ouvrages destinés au grand public, après la première guerre mondiale. Dans *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, au titre ambigu, Nordmann réalise à son tour une synthèse des résultats de l'AP, depuis l'analyse spectrale du Soleil jusqu'aux hypothèses cosmogoniques en train de devenir les bases de la cosmologie, en passant par les travaux stellaires que nous avons déjà soulignés : détermination du diamètre des étoiles par interférométrie, mesure de leur température par photométrie hétérochrome, etc.[1002] Mais Nordmann sait aussi se faire l'apôtre des théories nouvelles, notamment les idées d'Einstein, et leurs applications à la science de l'Univers. Sur un style très emphatique, Nordmann écrit ainsi en 1921 que « Les théories d'Einstein causent dans la Science un profond bouleversement. Grâce à elles le monde nous semble plus simple, plus coordonné, plus uni »[1003]. Nordmann apparaît alors comme un savant ouvert aux théories nouvelles, et qui, sur le plan expérimental, est aussi aux avant-postes. En effet, la mise au point de son photomètre hétérochrome est, nous l'avons vu, une conséquence de loi sur le rayonnement que Planck publie en 1901. J.B. Hearnshaw, dans son ouvrage sur l'histoire de la photométrie astronomique pointe l'importance que de tels programmes de recherche ont pu avoir sur le développement de l'astrophysique : les travaux de Wilsing et Sheiner à Potsdam en 1908, et ceux de Nordmann à Paris en 1909, marquent, selon Hearnshaw, le « développement de l'astrophysique »[1004].

Enfin, on peut mentionner ici que Poincaré apparaît comme un point commun entre ces différents personnages (hormis Millochau), notamment comme directeur de thèse pour Nordmann et Hamy : plus que cela, il est une référence, tant scientifique que philosophique. Nordmann nomme par exemple Poincaré « ce grand Français dont la disparition laisse un vide qui ne sera jamais comblé »[1005] ; il affirme également que, concernant les idées nouvelles sur l'espace et le temps, Poincaré « a vraiment le mérite de la plupart des choses qu'on attribue, dans le public, couramment à Einstein. »[1006], et termine en notant que sa « pensée continue à dominer tous les cerveaux qui réfléchissent, étendant plus loin chaque jour ses ailes triomphales »[1007]. Les ouvrages de Nordmann et Salet invoquent donc souvent Poincaré

[1002] NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923.
[1003] NORDMANN, Charles, *Einstein et l'Univers. Une lueur dans le mystère des choses*, Hachette, Paris, 1921, p.5.
[1004] HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge University Press, Cambridge, 1996, p.308 et 343.
[1005] NORDMANN, Charles, *op.cit.*, p.17.
[1006] *Ibid.*
[1007] *Ibid.*

comme une figure consensuelle, au-delà des clivages ; Poincaré a dirigé leurs travaux universitaires, et est resté une référence épistémologique importante pour eux. De même, Poincaré se servira de certains travaux de ses élèves pour alimenter ses réflexions cosmogoniques : il cite notamment dès 1911 les mesures de Nordmann concernant les températures stellaires, mesures dont l'ordre de grandeur est déjà un renseignement important.

Mais cette adhésion à des théories considérées par certains seulement comme des hypothèses en France a certainement été à l'origine d'une méfiance, voire plus, ressentie par la communauté scientifique française. Dans l'introduction de son livre sur les idées d'Einstein, Nordmann précise que « Einstein est à la fois le Sieyès, le Mirabeau et le Danton de la Révolution nouvelle. Mais celle-ci connaît déjà des Marat fanatiques et qui prétendent dire à la Science : ' Tu n'iras pas plus loin.' »[1008]. Il s'oppose ainsi à une démarche inductive typiquement française, qui préfère, pour reprendre l'expression de Dominique Pestre, « exposer la science morte, passée, mais vécue comme certaine, comme sûre, à la science mouvante en train de se construire »[1009]. Car la démarche d'un Planck ou d'un Einstein est effectivement une démarche déductive, donnant une grande part à l'hypothèse, ce que refusent, comme nous l'avons vu, la plupart des scientifiques français de cette époque. Nordmann affirme, pour sa part, la nécessité de l'hypothèse dans la démarche scientifique : « Les hypothèses sont dans la science une sorte de mortier souple, et rapidement durci à l'air libre, qui permet d'une part de joindre les blocs disparates d'un édifice, d'autre part de remplir par du faux, que le passant superficiel prendra demain pour de la pierre de taille, les brèches creusées dans la muraille par les projectiles adventices. »[1010] Et l'on peut également souligner le fait que, en 1921, applaudir au génie d'Einstein est presque une épreuve de force, dans un contexte anti-germanique fort qui verra notamment le désaveu de Paul Langevin par la Société française de Physique, celui-ci ayant osé inviter le savant Einstein[1011]. Hormis Nordmann, Hamy s'intéresse aussi aux théories d'Einstein : il expose ainsi, en 1922, certaines précautions à prendre lors de la photographie d'étoiles en plein jour, celles-ci pouvant amener à vérifier l'effet Einstein lors d'une éclipse totale de Soleil[1012]. Et Salet, enfin, introduit en

---

[1008] *Ibid.*, p.5.
[1009] PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992.
[1010] NORDMANN, Charles, *op.cit.*, p.37.
[1011] Einstein sera en effet reçu au Collège de France et à la Société de philosophie.
[1012] HAMY, Maurice, « Sur une propriété des émulsions photographiques et l'enregistrement des étoiles, pendant les éclipses totales de Soleil, en vue de la vérification de l'effet Einstein.», *CRAS*, t.174, 1922, p.717-718.

1926 les prévisions théoriques de la relativité générale sur la structure de l'Univers dans un article consacré aux univers-îles, c'est-à-dire à la nature exacte des nébuleuses spirales.[1013]
Ainsi, sur le plan cosmogonique, cette communauté d'astronomes physiciens n'hésite pas à s'immiscer dans l'espace qui sépare métaphysique et physique. L'article de Salet cité plus haut le montre, et Nordmann écrit quant à lui que « C'est bien une marque des temps de voir [le problème de l'évolution de l'Univers] aujourd'hui échapper au domaine nébuleux de la métaphysique pour tomber, … pour monter, devrais-je dire peut-être, dans celui de la physique pure. La pérennité de l'Univers est devenue une question de physique, et plus précisément de thermodynamique »[1014]. La production écrite de ces savants peut donc être qualifiée de science 'romancée'. Si Nordmann cherche à s'en défendre, le style de ses ouvrages est toujours enflammé, partisan et emphatique. Il écrit par exemple dans une de ses introductions : « Dans la réalité, il y a plus de merveilleux, de romanesque que toutes nos pauvres rêveries. Dans la soif de savoir, dans l'élan mystique qui nous jette au cœur profond de l'Inconnu, il y a plus de passion et de douceur que dans toutes les fadaises dont s'alimentent tant de littérature. C'est pourquoi j'ai peut-être tort, après tout, de dire que ce livre n'est pas un roman »[1015]. Salet, en dehors de sa production scientifique dans des revues comme les *CRAS*, la *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* ou le *Bulletin Astronomique*, publie des ouvrages consacrés à des textes anciens de l'Inde brahmanique ou bouddhique, des études sur un astronome et poète persan du XI^{ème} siècle , Omar Khayyam, ou sur des philosophes de l'ancienne Chine, mais également une anthologie de pensées des sages de tous les pays et de toutes les époques. L'introduction de ce dernier livre est éloquente ; Salet indique les choix qui l'ont guidé dans sa rédaction, et probablement dans l'ensemble de son travail tant littéraire que scientifique : « L'amour de la vérité, dont les conséquences sont le goût de la libre recherche et le rejet de tout dogmatisme. L'amour du beau, qui fait naître l'enthousiasme artistique et le mépris de ce qui est bas et vulgaire. Enfin l'amour du bien, c'est-à-dire la recherche du progrès moral et le dédain des récompenses que pourraient nous valoir nos actions »[1016]. Nordmann, dans la même veine littéraire écrit pour sa part que « Les étoiles sont adorables parce qu'elles sont pareilles à ces chimères vers qui tend vainement

---

[1013] SALET, Pierre, « Les Univers-îles », Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées, t.37, 1926, p.168-174.
[1014] NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923, p.190.
[1015] NORDMANN, Charles, *Einstein et l'Univers. Une lueur dans le mystère des choses*, Hachette, Paris, 1921, p.6.
[1016] SALET , Pierre, *Le Livre de la Sagesse*, Payot, Paris, sans date.

l'inacessible amour »[1017], et termine le même ouvrage par un plaidoyer pour une science poétique : « Et rien n'est aussi amusant que les hypothèses invérifiables. Rien ne prête davantage à la rêverie, à l'élan vers l'infini, qui, à en croire Platon, est l'amour même. C'est pour cela que les hommes de science dignes de ce nom, sont des poètes. C'est pour cela que rien ne recèle plus de poésie que la Science »[1018].

Quelle perception ont eu d'autres savants de ces scientifiques poètes ? Une étude plus approfondie serait nécessaire pour répondre à cette question. Pour le moment et à titre de réponse provisoire, on peut se contenter de l'avis de Louis Houllevigue, normalien, reçu à l'agrégation de sciences physiques en 1885, et auteur d'une thèse en 1896 sur l'influence de l'aimantation sur les phénomènes thermélectriques. Houllevigue est un proche de Pierre Duhem et de Paul Painlevé, et occupe la chaire de physique de l'université de Marseille à partir de 1904, à côté de Charles Fabry, qui occupe pour sa part la chaire de physique industrielle. Houllevigue, « l'un des maîtres incontestés de la vulgarisation scientifique »[1019], écrit ainsi : « Je connais des savants qui, ayant voué leur vie à la recherche de la septième décimale, n'ont que du dédain pour cette « science romancée ». D'autres, négligeant les vérités terre à terre, nourrissent exclusivement leur esprit de ces merveilleuses hypothèses »[1020]. Il paraît donc légitime de penser que le caractère poétique que nous avons relevé chez Salet et Nordmann n'a pas dû recueillir l'adhésion des tenants d'une démarche scientifique basée sur la métrologie, à savoir les physiciens opticiens, héritiers de Cornu.

Quoi qu'il en soit, le jugement que Deslandres porte sur le travail de Nordmann est assez élogieux, au point d'émettre un avis positif sur l'élection de Nordmann à l'Académie des Sciences, malgré la divergence de vue que les deux hommes montraient, concernant les ondes hertziennes.[1021] Deslandres écrit ainsi au sujet de Nordmann en 1912 :

> Toutes ces applications, toutes ces recherches sont de haute portée et fort originales. On a objecté, il est vrai, à l'auteur que ses mesures et ses conclusions étaient quelque peu hâtives ; et en effet son désir ardent d'un beau résultat et son imagination très vive l'ont entraîné parfois à certaines exagérations. Mais ce sont là péchés de jeunesse que l'âge atténuera bien vite ; et si l'on ajoute que M. Nordmann est un écrivain remarquable au style

---

[1017] NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923, p.6.
[1018] *Ibid.*, p.254-255.
[1019] GEORGELIN, Yvon, « Marseille et la naissance de la spectroscopie interférentielle », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.153
[1020] HOULLEVIGUE, Louis, *Problèmes actuels de l'Astrophysique*, Armand Colin, Paris, 1935, p.86.
[1021] Deslandres et Nordmann travaillent tous deux en 1902 sur la nature des rayonnements émis par le Soleil : ondes hertziennes, rayons cathodiques notamment. Deslandres et Nordmann se sont opposés entre autres au sujet de la nature des nébuleuses ou de la couronne solaire.

élégant et coloré, vous conviendrez avec moi que l'homme sort très nettement de l'ordinaire et justifie largement la présentation faite par la section.[1022]

En 1920, Deslandres propose l'avis suivant : « M. Nordmann a donné une partie de son temps à des travaux en dehors de l'astronomie ; mais quand il a bien voulu se consacrer à elle, il a eu une originalité, une intuition, une puissance et une souplesse d'esprit vraiment remarquables ; et s'il n'est pas allé au fond des choses, il a obtenu des résultats d'une réelle valeur »[1023]. Par contre, l'avis de Deslandres est très différent au sujet de Millochau. Nous avons déjà évoqué, au chapitre 3.1 les difficultés relationnelles entre Deslandres et Millochau à partir de 1904-1905. Ainsi, Deslandres, lors de la séance du 8 avril 1913, déclare au sujet de Millochau qui postule pour le titre d'astronome adjoint à l'observatoire de Lyon, que celui-ci « manque absolument de jugement, tact et mesure. Aplomb du primaire qui ne doute de rien. Il a une habileté expérimentale, il a rendu des services. Amour propre maladif assez fort pour le pousser à déranger des appareils et à troubler les observations de ses collègues »[1024]. Alors que Baillaud, directeur de l'OP, s'estime pour sa part satisfait de Millochau, Deslandres s'explique par une lettre à Bayet, directeur de l'enseignement supérieur : « À vous dire la vérité, j'ai été d'abord un peu froissé par ce qui semblait un manque d'égards [notamment de Darboux], car, enfin, j'ai fait honneur à la science française, et je suis actuellement le seul astronome français qui ait reçu les grandes médailles de l'étranger, accordées à un petit nombre de personnes. […] »[1025]. Et Deslandres de préciser « qu'il a conservé un mauvais souvenir des agissements de M. Millochau dans la période difficile qu'a traversée l'observatoire de 1904 à 1907. Le directeur précédent était alors très affaibli par l'âge, et en fait l'observatoire était dirigé par sa femme et sa fille. M. Millochau a si bien fait que l'observatoire était partagé en deux camps hostiles et était devenu une véritable pétaudière. Dans cette période, M. Millochau a obtenu une seconde médaille Janssen ; il était vrai qu'il déclarait partout comme construit en 1869 un appareil de M. Janssen construit en 1893. Le fait est plutôt comique. »[1026] Finalement, on peut saisir l'appréciation que Deslandres porte sur son propre statut et son importance institutionnelle : il se veut un personnage de premier

---

[1022] « Rapport sur les travaux scientifiques de M. Charles Nordmann par M. Deslandres. Rapport lu le 19 février 1912 », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.
[1023] « Nouveau rapport au Comité secret du 1er mars 1920 », *ibid.*
[1024] « Procès-verbal de la Séance du conseil des observatoires astronomiques du 8 avril 1913 », *Archives Nationales*, F 17 15573. Nous remercions chaleureusement Arnaud Saint-Martin pour nous avoir communiqué ce texte.
[1025] *Ibid.*
[1026] *Ibid.*

plan, sinon le leader, de l'astronomie française, cette position étant visible et justifiée par la reconnaissance étrangère de ses travaux.

Sur le plan instrumental, on constate que, de façon évidente pour Hamy et Salet, les appareils mis au point sont nécessairement compris et étudiés mathématiquement. Hamy écrit par exemple lors de ses études sur l'utilisation de l'interférométrie dans le but d'une détermination du diamètre des étoiles que « La solution de la question se ramène, en somme, à la discussion d'une équation transcendante en m »[1027]. Ce trait est constant et tranche fortement avec la pratique d'un Deslandres par exemple, peu enclin à la mathématisation de ses instruments.
Pour autant, les appareils mis au point par les astronomes physiciens de l'OP vont peu circuler : les photomètres, les polarimètres ou les interféromètres n'ont pas été l'objet d'une utilisation hors du groupe. Et même si les sujets qu'ils ont étudiés seront investis après la première guerre mondiale, cela sera sans référence, semble-t-il, à ses précurseurs. On peut également remarquer que ces savants ne vont former aucun élève, ne tenant pas de chaire influente, et ne feront donc pas école : ce groupe a vécu de façon isolée sans pérenniser ses idées. Si nous suivons le sociologue Pierre Bourdieu lorsqu'il écrit qu' « on ne peut comprendre l'ascension ou le déclin d'une discipline, qu'à condition de prendre en compte à la fois son histoire intellectuelle et son histoire sociale, en allant depuis les caractéristiques sociales du leader et de son entourage initial jusqu'à des propriétés collectives du groupe comme son attraction sociale et sa capacité d'avoir des élèves »[1028], il faut reconnaître que Maurice Hamy, en sa qualité de chef du service d'AP de l'OP, n'a pas rassemblé les qualités d'un leader et impulser des idées ou des méthodes originales.

Finalement, pour replacer cet état de fait dans son contexte intellectuel, social et institutionnel, il faut aussi tenir compte de la permanence du groupe, de forte représentativité polytechnicienne, que nous avons déjà évoqué dans le chapitre 3.1, et qui poursuit l'esprit scientifique de Cornu : Charles Fabry, entre autres, investit l'AP, à la même époque, sur des sujets identiques. Il publie une dizaine de notes sur la photométrie hétérochrome entre 1903 et 1925, et écrit à l'occasion de son jubilé scientifique en 1938 comment la photométrie hétérochrome était perçue en 1903 : sa méthode des filtres « fut accueillie en France avec le

[1027] HAMY, Maurice, « Sur la détermination par la méthode interférentielle des diamètres des étoiles dont l'éclat superficiel n'est pas uniforme », *CRAS*, t.174, 1922, p.345.
[1028] BOURDIEU, Pierre, *Science de la science et réflexivité*, Editions Raisons d'agir, Paris, 2001, p.136.

plus complet scepticisme. Le membre de l'Académie des Sciences, à qui j'avais demandé de présenter ma Note, m'écrivit qu'il ne le faisait 'qu'après beaucoup d'hésitations' »[1029]. Sur le sujet de la polarisation, Fabry nuance les conclusions de Salet en 1907[1030], quand celui-ci souligne qu'il n'a pas mesuré de polarisation dans les protubérances, ce qui va à l'encontre des théories solaires de Schmidt et Julius. Fabry lui rétorque, après une étude basée sur la théorie de Fresnel, que « Des observations sur l'état de polarisation de la lumière qui nous vient d'un astre ne peuvent pas nous renseigner sur les réfractions qui peuvent s'être produites à travers des masses gazeuses »[1031]. Salet tiendra d'ailleurs compte des remarques de Fabry dans sa thèse en 1910. Enfin, Fabry s'est penché sur l'application des méthodes interférométriques à des recherches d'AP : à partir de 1911, Fabry a commencé une étude interférométrique de la nébuleuse d'Orion dont il tirera la vitesse radiale. L'ensemble de ces considérations invite donc à nous pencher sur le travail de Fabry en AP, de façon à analyser les raisons de l'insuccès du service d'AP de l'OP, et à regarder de quelle façon Fabry, de par sa filiation scientifique, a joué un rôle de leader ou d'arbitre dans une discipline, comme l'AP, en passe de se structurer.

[1029]FABRY, Charles, Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.411.
[1030] SALET, Pierre, « Sur l'absence de polarisation des protubérances», *CRAS*, t.144, 1907, p.1125.
[1031] FABRY, Charles, « Sur la polarisation par réfraction et la propagation de la lumière dans un milieu non homogène. », *CRAS*, t.145, 1907, p.115.

3.4 Permanence et continuité polytechnicienne : Alfred Pérot, Charles Fabry, Jean Bosler.

Durant la dernière période que nous considérons dans cette partie, nous nous intéresserons à trois savants qui, au regard de leurs publications, de leurs enseignements et leurs positions institutionnelles, ainsi que leur présence internationale, vont jouer un rôle particulier dans le développement spécifique de l'AP française. Charles Fabry et Alfred Pérot, tous deux polytechniciens, vont investir ce domaine d'étude en continuité avec la démarche de leur maître, Cornu. Nous verrons que Pérot, en intégrant Meudon et en devenant un physicien solaire, mais surtout Fabry (qui pourtant ne sera jamais membre du personnel d'un observatoire) par ses enseignements notamment, vont maintenir la tradition de l'optique que nous avons déjà décrite. De son côté, Jean Bosler, également polytechnicien, viendra travailler à l'OP, à Meudon puis deviendra directeur de l'observatoire de Marseille : celui-ci apparaît à la fois comme un acteur et un critique de la situation de l'AP française, et se distingue par l'importance de ses écrits de synthèse sur la discipline. En particulier, son *Cours d'Astrophysique*, s'il est publié en 1928, est la concrétisation de cours donnés à la Sorbonne entre 1919 et 1922 qui peuvent être vus comme un bilan, une compilation des travaux effectués dans le champ de l'AP avant la première guerre mondiale.
Dès lors, l'étude de ces trois personnages s'avère indispensable pour comprendre la nature et la spécificité de l'AP française, son développement depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, de façon à saisir les permanences et les continuités, les liens entre la physique et l'astronomie au regard des sujets d'étude privilégiés par plusieurs générations de savants, et ainsi à comprendre dans quelle mesure l'AP française reste un processus inachevé à la veille de la première guerre mondiale.

3.4.1 De la métrologie à l'astronomie physique

Dans les discours qui décrivent les travaux de Fabry et Pérot dans le domaine de l'astronomie, la connexion entre la physique et l'astronomie est souvent soulignée. Par exemple, Fabry écrit dans la notice sur Pérot lors de la mort de celui-ci en 1926 :

The narrowing of the gap between physics and astronomy is perhaps the most striking fact in the modern development of astronomy. The two sciences are today closely linked ; every discovery in physics raises the hope of an astronomical application, and, conversely, many important problems have been set for the physicist by observations of an astronomical character. Physics thus now occupies the position in respect to astronomy which was held by pure mathematics at the time of Laplace. This interrelation between physics and astronomy has characterized the scientific career of the late Alfred Perot.[1032]

De même, Louis de Broglie écrit de Fabry qu' « il n'a jamais cessé de regarder alternativement vers la Terre et dans les Cieux. Avant lui, bien que l'Astrophysique existât déjà, une sorte de cloison étanche séparait les travaux des astronomes de ceux des physiciens ; il sut renverser cette barrière et, physicien depuis son enfance épris d'astronomie, il sut établir une liaison durable entre deux grandes sciences qui ne peuvent s'ignorer »[1033]. Le problème se pose alors de savoir en quoi cette connexion physique / astronomie a pris un caractère différent des travaux de Janssen, de Cornu ou de Deslandres par exemple, pour qu'elle soit aussi remarquée dans les biographies de Fabry et Pérot : leurs travaux montrent-ils une réelle évolution qualitative ou bien simplement une accélération quantitative ? Pour le définir, nous nous attacherons dans un premier temps au travail en commun de Fabry et Pérot, pour ensuite décrire leurs parcours respectifs dans le monde de l'AP.

Dans sa thèse soutenue en 2002[1034], Charlotte Bigg a largement décrit la collaboration entre Fabry (promotion X 1885) et Pérot (promotion X 1882), concernant le problème de la définition du mètre par une méthode optique (interférométrique), puis par l'utilisation des mêmes procédés pour l'établissement de standards de longueurs d'onde qui seront utiles à la communauté astrophysicienne qui s'organise durant la première décennie du XX^{ème} siècle. Les débuts de carrière des deux savants s'enracinent dans des questions métrologiques : mesures de petites différences de potentiel, de petites épaisseurs d'air, de la densité de vapeurs saturées de différents liquides, du coefficient de viscosité de l'air, …Sur un plan international, c'est en 1875 qu'est créé le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),

---

[1032] « Le rapprochement entre la physique et l'astronomie est peut-être le fait le plus frappant dans le développement moderne de l'astronomie. Les deux sciences sont aujourd'hui intimement liées : chaque découverte en physique fait naître l'espoir d'une application astronomique, et, réciproquement, beaucoup de problèmes importants ont été posés au physicien par observations de caractère astrophysique. La physique occupe ainsi la position vis-à-vis de l'astronomie qui était occupée par les mathématiques pure du temps de Laplace. Cette relation mutuelle entre la physique et l'astronomie a caractérisé la carrière scientifique du regretté Alfred Pérot. ». Cité in FABRY, Charles, « Alfred Pérot », *The Astrophysical Journal*, 64, n°4, p.209.

[1033] DE BROGLIE, Louis, *Savants et découvertes,* Paris, Albin Michel, 1951, p.214.

[1034] BIGG, Charlotte, «Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe», Thèse de Doctorat, University of Cambridge, 2002.

sous le contrôle du Comité International des Poids et Mesures (CIPM) : « Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ».[1035] La section française du CIPM sera dirigée par Fizeau en 1875, puis par Cornu en 1881. C'est ce dernier qui, comme nous l'avons déjà vu, présidera le Congrès International de Physique de Paris en 1900, congrès dû à l'initiative de la Société Française de Physique, et à l'occasion duquel Charles Fabry et Alfred Pérot vont diffuser leur travail métrologique de définition du mètre par des méthodes optiques. Leur étude est en fait l'aboutissement de l'idée initialement émise par Fizeau dès 1864, puis reprise par Jules Macé de Lépinay et Albert Michelson : utiliser la lumière comme un étalon métrique. Macé de Lépinay va réaliser le lien entre métrologie et méthode interférométrique par sa collaboration à partir de 1886 avec René Benoît du BIPM. De leur recherche va découler la nécessité de déterminer précisément le lien entre la longueur d'onde de la raie D2 du sodium et le mètre. L'américain Michelson, qui avait passé un an en France pour suivre notamment le cours de Cornu à Polytechnique, reviendra à Paris en 1892, pour réaliser, en collaboration avec Benoît au CIPM, la mesure du nombre d'ondulations de la raie rouge du cadmium dans un mètre, ceci par des mesures d'interférences. Ce travail va fortement marquer les physiciens français, et c'est dans cette ambiance que Fabry et Pérot vont utiliser leur travail en optique vers des applications métrologiques. L'étalon du mètre, basé auparavant sur un objet solide de taille déterminée, sera fixé dorénavant par une procédure expérimentale, elle-même fondée sur deux instruments : l'interféromètre aujourd'hui appelé Pérot-Fabry, et l'étalon interférentiel[1036]. Ces deux appareils sont constitués de deux glaces semi-argentées, de fort pouvoir réflecteur, limitant une lame d'air d'épaisseur e. Dans l'interféromètre Pérot-Fabry, l'une des glaces argentées est fixe, l'autre est porté par un patin mobile : il sert notamment pour l'étude de la structure de raies complexes, c'est-à-dire par exemple pour la séparation d'une raie double en ses composantes. En effet, en augmentant l'épaisseur e de la lame d'air, les deux systèmes d'anneaux dus à chaque composante se séparent : on observe une discordance complète lorsque les anneaux brillants de l'une occupent les milieux des intervalles de l'autre, ce qui rend possible la mesure de la différence de longueur d'onde entre les deux composantes, d'où

[1035] *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, 9th meeting, 1997.

[1036] Pour la description de ces appareils voir aussi : GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, « Marseile et la naissance de la spectroscopie interférentielle », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.97-165 ; BRUHAT, Georges, *Cours d'Optique à l'usage de l'enseignement supérieur*, Masson et Cie, Paris, 1931.

un intérêt spectroscopique évident. Dans l'étalon interférentiel, l'épaisseur de la lame d'air est fixe : il sert d'étalon de longueur.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail, chronologique et technique, des travaux métrologiques de Fabry et Pérot. Charlotte Bigg a clairement précisé les enjeux et l'intérêt de ces recherches pour l'AP. En effet, Fabry et Pérot vont se positionner internationalement en pointant les erreurs systématiques que le système de longueur d'ondes établi par Henry Rowland pouvait présenter. Alors unanimement adopté, les standards de longueurs d'onde définis par Rowland étaient le résultat de mesures spectroscopiques effectuées à l'aide d'un réseau, et imposaient le Soleil comme base du système de longueurs d'onde. A l'instar de Cornu qui, à l'occasion du passage de Vénus en 1874, avait suggéré qu'une expérimentation de laboratoire (la mesure de la vitesse de la lumière) pouvait avantageusement remplacer une mesure basée sur l'observation (le passage de Vénus devant le Soleil), Fabry et Pérot vont réussir à supplanter le système de Rowland (basé sur le spectre solaire), par un nouveau système de longueurs d'onde basé sur des mesures interférométriques effectués au laboratoire sur des éléments terrestres. C'est en 1902 que Fabry et Pérot vont publier un article dans l' *Astrophysical Journal* et dans les *Annales de Chimie et de Physique* [1037] qui remet en question le système de Rowland : le spectre solaire, soumis à trop de variations liées à sa rotation ou à son activité, ne peut rester la base d'un étalon fondamental, tandis que des « méthodes de laboratoire permettent d'obtenir des raies brillantes dont la longueur d'onde est bien mieux définie que celle des raies solaires les plus fines, et qui présentent toute garantie d'invariabilité »[1038]. Charlotte Bigg note de quelle façon ces travaux s'inscrivent dans la tradition de l'optique fresnélienne et expérimentale entretenue par Cornu, qui fut le professeur de Fabry et Pérot à l'Ecole Polytechnique[1039] : l'accent est porté sur la détection et l'exploitation d'erreurs de mesures systématiques[1040], ainsi que sur la mise au point de méthodes précises plus que d'appareils dont le secret doit être gardé. Ainsi, la métrologie chez Fabry et Pérot est de nature procédurale, au contraire de celle de Rowland qui vise la construction et la diffusion d'appareils, et la production de données en masse. Ceci ne sera pas sans conséquence sur le

[1037] FABRY, C., PEROT, A., « Mesures de longueurs d'onde en valeur absolue, spectre solaire et spectre du fer », *Annales de Chimie et de Physique*, 7ème série, t.25, 1902, p.98-139 ; « Meausures of absolute wave-lengths in the solar spectrum and in the spectrum of iron », *Astrophysical Journal*, 15, 1902, p.73-96.

[1038] FABRY, C., PEROT, A., « Mesures de longueurs d'onde en valeur absolue, spectre solaire et spectre du fer », *Annales de Chimie et de Physique*, 7ème série, t.25, 1902, p.99.

[1039] Voir aussi HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p.425.

[1040] Cornu s'est particulièrement intéressé aux problèmes des erreurs systématiques produites par les réseaux : CORNU, Alfred, « Sur diverses méthodes relatives à l'observation des propriétés appelées anomalies focales des réseaux diffringents », *CRAS*, t.116, 1893, p.1215-1222.

développement ultérieur de l'astrophysique : la culture expérimentale transmise par Fabry et Pérot suppose une longue formation visant l'apprentissage de méthodes plus que la manipulation d'appareils, type « boites noires », qui se répandent aux USA[1041].

La refonte du système de longueurs d'onde par Fabry et Pérot va réussir à être acceptée par la communauté astronomique et physicienne. Au terme d'une polémique assez dure avec les spectroscopistes américains (Louis Bell en tête), le nouveau système de Fabry et Pérot va connaître l'adhésion des savants allemands, qui y voient une occasion de lutter contre la domination américaine croissante: cette lutte de pouvoir s'ajoute à celle, entre allemands et américains, concernant la définition d'un système de classification des étoiles. Ainsi, Fabry et Pérot proposent-ils leur système lors de la première réunion de l' *International Union for Cooperation in Solar Research* à Saint-Louis, système qui , soutenu par Hale, sera adopté en 1905 lors de la deuxième réunion à Oxford. Par ce biais, Fabry et Pérot s'introduisent dans le domaine de l'astronomie : de la même façon, ce seront les savants français, qui publieront le plus dans l' *Astrophysical Journal*, entre 1895 et 1914, devenant également membre du comité éditorial de la revue à partir de 1906[1042], signe évident d'une reconnaissance internationale. (voir tableau 1 ci-desssous et en annexe 6 pour le détail des publications des savants français dans l' *Astrophysical Journal* de 1895 à 1928.)

[1041] BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.45.
[1042] GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *op.cit.*, p.158.

	1895-1913	1914-1928
FABRY	14	5
PEROT	7	
CORNU	4	
DESLANDRES	3	
BUISSON	3	4
COTTON	3	
GRAMONT	2	
BAUME PLUVINEL	2	
PELLIN	1	
BROCA	1	
MILLOCHAU	1	
STEFANIK	1	
FERY	1	
BALDET	1	
HAMY	0	2
BOURGET	0	1
SALET	0	1

Tableau 1 : Nombre de publications dans l' *Astrophysical Journal*, par auteur, de 1895 à 1913, et de 1914 à 1928.

Après cela, Fabry et Pérot vont poursuivre ce travail métrologique. Fabry, avec Henri Buisson à Marseille, va procéder à la détermination du spectre du fer, tandis que Pérot avec Benoît (mais aussi Fabry) à Paris, poursuivra la détermination du mètre à partir de la raie rouge du cadmium, dans la lignée des travaux de Michelson. Fabry et Pérot s'affirment dans le domaine spectroscopique en modifiant profondément les habitudes : c'est le spectre du fer (obtenu au laboratoire) qui remplace le spectre solaire en tant que spectre de référence (comme l'avait revendiqué déjà Cornu), et c'est la raie rouge du cadmium qui est choisie comme point de repère absolu à la place de la raie du sodium prise par Rowland[1043]. Fabry et Pérot ont donc imposé leurs travaux à la fois dans le monde des physiciens et dans celui des

[1043] BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.38.

astronomes, tout en participant à harmoniser les pratiques de la communauté astrophysicienne qui émerge à ce moment, et ceci dans la tradition de l'optique héritée de Cornu. Ce qui apporte un élément de réponse à la question posée au début de cette section : car, comme le note Charlotte Bigg, « Fabry et Pérot ont réussi à introduire (plus) d'optique physique en astrophysique, et en même temps à positionner l'astrophysique dans les rails de la physique »[1044]. C'est par ce travail en profondeur sur les bases métrologiques de l'AP que s'est constituée la connexion intime entre physique et astronomie réalisée par Fabry et Pérot.

3.4.2 Alfred Pérot : un physicien à l'observatoire de Meudon

La reconnaissance internationale dans le champ de l'astrophysique, évoquée plus haut, a largement contribué à orienter les carrières de Fabry et Pérot. Pour ce dernier, cela se concrétisera par un poste d'astronome adjoint, avec le poste de physicien.

Pérot, né en 1863 à Nancy, intègre l'Ecole Polytechnique en 1882, puis revient à Nancy pour travailler au laboratoire de physique de l'université, à côté de René Blondlot. En 1888, il soutient alors une thèse « Sur la mesure des volumes spécifiques des vapeurs saturantes, et mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur »[1045]. Il quitte alors Nancy pour la Faculté des Sciences de Marseille, où il occupe un poste de maître de conférence, s'occupant principalement d'électricité et des ondes hertziennes. A la fin des années 1880, il donne un cours d'électricité industrielle, très prisé à cette époque des débuts de l'électrification massive des villes. En 1894, à la suite du succès de ce cours, il est chargé d'un cours de physique industrielle, lui permettant de développer son propre laboratoire à la Faculté. Puis, en 1901, désormais reconnu grâce à l'importance internationale de ses travaux métrologiques, il est chargé de fonder et de diriger le nouveau Laboratoire d'Essais du CNAM. Enfin, en 1908, il renoue avec la « science pure »[1046], en intégrant l'observatoire de Meudon, en la qualité de physicien. Au même moment (1909), il devient également professeur de physique à l'Ecole Polytechnique, succédant à Henri Becquerel : ainsi, Pérot se voit remplacer deux physiciens, Janssen et Becquerel, spécialistes de spectroscopie, dans deux institutions phares de la science française.

[1044] *Ibid*., p.44.
[1045] FABRY, Charles, «Alfred Pérot», *The Astrophysical Journal*, 64, n°4, p.209-214.
[1046] *Ibid*.

Lorsqu'il arrive à Meudon, Pérot va chercher à appliquer les méthodes interférentielles qu'il a mises au point à des sujets touchant le Soleil. Deslandres dirige ainsi les travaux de Pérot vers les sujets qui le préoccupent le plus : rotation du Soleil et de la couronne, mouvements verticaux des différentes vapeurs de l'atmosphère solaire. Là où Deslandres utilise ses spectrohéliographes, Pérot développera un programme de spectroscopie interférentielle, montrant ainsi la façon dont des méthodes propres à la physique se sont diffusées dans le monde de l'astronomie Pérot écrit de faon explicite dès 1908 : « Il m'a paru intéressant d'essayer les méthodes et les instruments de spectroscopie interférentielle imaginés par M. Fabry et moi-même, qui nous ont permis de mettre en évidence les erreurs systématiques qui se sont glissées dans le beau travail de Rowland sur le spectre solaire »[1047].

Dès 1908, Pérot peut annoncer certains résultats obtenus avec son étalon interférentiel en invar, associé à un spectroscope à réseau produisant un spectre qui tombe ensuite sur une fente séparatrice animée d'un mouvement lent permettant d'isoler une radiation déterminée. La mesure revient à déterminer la différence d'angle incidence pour deux rayons appartenant au même parallèle, entraînant une variation de longueur d'onde, puis à calculer la vitesse le long de ce parallèle pour une vapeur déterminée. Pérot avance alors que, en classant les vapeurs en fonction de leur vitesse de rotation, le calcium serait intermédiaire entre l'hydrogène et le fer. De plus, sa méthode ne fait intervenir ni la longueur d'onde de la raie considérée, ni l'épaisseur de l'étalon, ni la présence de repère dans le spectre. Ceci va l'amener à développer, avec Bosler, une théorie dite des centres absorbants, à partir d'expériences de laboratoire sur la luminescence de l'arc au mercure. Pérot et Bosler vont tester et valider certaines hypothèses relatives à l'émission spectrale d'un arc au mercure : ils vont être amenés à distinguer porteurs électriques et centres lumineux, stipulant que l'émission des raies est due uniquement à des atomes mercuriels ionisés mis en vibration par le choc des porteurs électriques[1048]. De cette façon, Pérot renouvelle le problème des mouvements de vapeurs dans l'atmosphère solaire, dans la lignée des travaux de Deslandres . En précisant l'origine de la lumière émise dans l'atmosphère solaire, il questionne l'interprétation des mesures de vitesse des vapeurs : « Les résultats trouvés sont-ils, à coup sûr, relatifs à des mouvements matériels, par exemple des courants de vapeur, analogues aux courants aériens que nous observons à la surface du sol ; ou bien les mouvements décelés par

[1047] PEROT, Alfred, « Sur la rotation du Soleil », *CRAS*, t.147, 1908, p.340.
[1048] PEROT, Alfred, BOSLER, Jean, « Sur la théorie de la luminescence de l'arc au mercure dans le vide », *CRAS*, t.151, 1910, p.216-218.

le spectroscope ne sont-ils qu'une image parfois infidèle de la réalité ? »[1049]. Ses expériences sur l'arc au mercure prennent alors une place importante pour alimenter le problème solaire : à la suite des recherches faites sur la luminescence de l'arc au mercure et de celles réalisées par Deslandres sur l'effet du champ magnétique sur le mouvement des charges électriques, Pérot explique que, dans les couches élevées de l'atmosphère solaire, « des électrons tombent sur le Soleil sous l'action de la charge positive de celui-ci, et malgré la pression de radiation, leur vitesse peut être assez grande pour donner aux centres absorbants une vitesse descendante mesurable ; ce serait, en particulier, le cas de la couche la plus élevée du calcium (raie K3) et du magnésium ; en même temps, comme l'a indiqué M. Deslandres, le champ magnétique entraînerait les électrons dans le sens de la rotation et l'on expliquerait ainsi l'excès de la vitesse de rotation des couches supérieures »[1050]. Ceci suppose, évidemment, qu'une « pluie d'électrons » tombe sur la surface solaire.

Après être passé, grâce à son étalon interférentiel, d'études de laboratoire appliquées aux mouvements des vapeurs de l'atmosphère solaire, Pérot va réaliser le passage inverse. A partir de 1913, il cherche à observer si des phénomènes du « même genre se produisent dans les tubes à gaz raréfiés illuminés électriquement »[1051]. Il expérimente sur l'hélium, l'hydrogène, le sodium ou encore le lithium, et il est intéressant de noter que ses recherches concernent uniquement le domaine de la physique : il vise à définir les paramètres qui influent sur la vitesse des centres lumineux, comme le poids moléculaire des corps étudiés, mais aussi à préciser l'effet des conditions expérimentales comme la nature et l'intensité du courant électrique utilisé. La portée de ses travaux est toujours métrologique, et il apparaît à cette occasion que Pérot continue de collaborer étroitement avec Fabry alors à Marseille. En 1908, Fabry et Buisson obtiennent ainsi 2 500 F sur le fonds Bonaparte pour la poursuite de leurs travaux spectroscopiques et métrologiques : « établissement d'un système de repères de longueurs d'onde, précis et sans doute définitif, nouvelles propriétés de l'arc au Fer, construction du spectre du Fer, etc. »[1052]. Ils envisagent alors de se procurer un réseau plan, un miroir concave de grand diamètre, deux miroirs plans pour la spectroscopie solaire et de l'arc électrique. Sur le même fonds Bonaparte, Pérot obtient lui aussi 2 500 F en 1908, « pour lui permettre d'entreprendre l'étude spectroscopique de la lumière émise par le Soleil à l'aide des

---

[1049] PEROT, Alfred, « Sur la spectroscopie solaire », *CRAS*, t.153, 1911, p.36.
[1050] *Ibid.*, p.37.
[1051] PEROT, Alfred, « Sur le mouvement des centres lumineux dans les tubes à hydrogène », *CRAS*, t.153, 1913, p.132.
[1052] « Fonds Bonaparte », *CRAS*, t.146, 1908, p.1434.

phénomènes interférentiels produits par les lames argentées. L'étude systématique ainsi conduite mettra en évidence les causes, connues, inconnues, qui peuvent modifier la longueur d'onde : vitesse radiale, pression, champ magnétique, etc. »[1053]. Ainsi, Fabry et Buisson à Marseille, Pérot à Meudon vont publier plusieurs articles sur la longueur d'onde des raies solaires, toutes présentées par Deslandres[1054]. La collaboration est donc étroite et intense, avec comme point commun d'appliquer systématiquement interféromètre et étalon interférentiel aux problèmes de spectroscopie solaire. Fabry notera plus tard ce fait : « To him, we owe the determination of the pressure of the reversing layer, indicating that this pressure is feeble and cannot explain the discrepancy between the solar and the arc lines »[1055]. On observe ici un travail très spécifique, où la portée métrologique occulte en fait la nature proprement astronomique. Mais dans cette recherche fine des paramètres qui viennent influer sur la position ou la largeur des raies solaires en comparaison avec celles du laboratoire, Pérot va aussi engager une collaboration plus étroite avec Deslandres, au sujet du magnétisme solaire : à la veille de la première guerre mondiale, tous deux procèdent à des expériences d'obtention de forts champ magnétiques de manière à observer les variations spectrales qui en découlent[1056]. A cette occasion, Deslandres et Pérot utiliseront l'usine de Saint-Ouen de la Compagnie générale de Distribution électrique de Paris, ainsi que l'usine électrique des Grands Magasins du Bon Marché, et obtiendront des champs allant jusqu'à 63 700 gauss.

[1053] « Fonds Bonaparte », *CRAS*, t.146, 1908, p.1435.

[1054] FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Comparaison des raies du spectre de l'arc électrique et du Soleil. Pression de la couche renversante de l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.148, 1909, p.688-690 ; « Sur l'élargissement dissymétrique des raies du spectre de l'arc et leur comparaison avec celles du spectre solaire. », *CRAS*, t.148, 1909, p.1240-1241 ; « Dispositif pour la mesure des très petits déplacements des raies spectrales. », *CRAS*, t.148, 1909, p.828-830 ; « Comparaison des spectres du centre et du bord du Soleil », *CRAS*, t.148, 1909, p.1741-1744.

PEROT, Alfred, « Sur la rotation du Soleil », *CRAS*, t.147, 1908, p.340-342 ; « Etude de la variation de la longueur d'onde de la lumière solaire au bord du Soleil », *CRAS*, t.151, 1910, p.38-41 ; « Sur la rotation de l'hydrogène dans l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.151, 1910, p.429-431 ; « Sur la longueur d'onde de la raie solaire b_2 », *CRAS*, t.152, 1911, p.1367-1370.

[1055] « Pour lui [Pérot], nous avons dû réaliser la détermination de la pression de la couche renversante, indiquant que cette pression est faible et ne peut pas expliquer l'écart entre les raies solaires et celles de l'arc ». FABRY, Charles, «Alfred Pérot», *The Astrophysical Journal*, 64, n°4, p.213.

[1056] DESLANDRES, Henri, PEROT, Alfred, « Contribution à la réalisation de champs magnétiques élevés. », *CRAS*, t.158, 1914, p.226 ; « Projet d'un électro-aimant susceptible de donner un champ magnétique de 100 000 gauss », *CRAS*, t.158, 1914, p.658 ; « Deuxième série d'essais pour l'accroissement des champs magnétiques actuels. Emploi de l'eau avec le nouveau mode de refroidissement.», *CRAS*, t.159, 1914, p.438-448.

<u>Fig. 3.4.1</u>. : Etalons interférentiels.

<u>Source :</u> FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.92.

Alfred Pérot aura également la charge d'un enseignement à l'Ecole Polytechnique, et c'est par ce biais qu'il va former et attirer vers l'astronomie physique certains de ses étudiants ou collaborateurs. On peut citer en premier lieu Bernard Lyot, dont les diverses biographies notent la filiation scientifique avec le groupe de polytechniciens formé que nous étudions. Après sa sortie de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Lyot devient l'assistant de Pérot à l'Ecole Polytechnique. Son intérêt pour l'astronomie est précoce puisqu'il adhère à la Société Astronomique de France dès 1915, à peine âgé de dix-huit ans, et envoie dès cette année-là à Camille Flammarion les observations qu'il réalise à l'aide d'une lunette de 95 mm[1057]. André Danjon note alors comment « Très vite, A. Pérot, Ch. Fabry, H. Deslandres reconnurent en lui une puissante personnalité, qu'ils eurent la sagesse de laisser s'épanouir en toute indépendance »[1058]. Lyot va ainsi poursuivre l'œuvre expérimentale et perpétuer la tradition optique[1059] en travaillant auprès de Deslandres dès 1920, mais aussi auprès de Fabry pour étudier la qualité des lentilles et la taille des objectifs[1060]. Il réalisera ainsi, entre autres, le projet de Deslandres et de toute la génération précédente de physiciens solaires, à savoir obtenir l'image de la couronne solaire hors éclipse : son coronographe, inventé en 1930, utilise la polarisation de la lumière coronale pour la séparer de la lumière diffuse de notre atmosphère.

De même, Marguerite Roumens (qui épousera plus tard Lucien d'Azambuja) sera engagée par Pérot en octobre 1923[1061], pour enregistrer les spectres du fer de la lumière solaire à Meudon, puis pour les mesurer à l'Ecole Polytechnique. Pérot l'incite à passer sa licence ès sciences, et elle suivra à partir de 1925 les cours de l'Ecole Supérieure d'optique. A Meudon, elle rencontre alors d'Azambuja, Baldet, Burson et Lyot, et sera engagé définitivement à Meudon

---

[1057] « Lettre de Bernard Lyot à Camille Flammarion, le 13 ocotbre 1915 », *Correspondance Flammarion conservée dans les archives de l'observatoire de Juvisy*.

[1058] DANJON, André, « Bernard Lyot », *Annales d'Astrophysique*, 15ème année, n°2, avril-juin 1952, p.2.

[1059] Il est intéressant de noter cette remarque dans *The Observatory* à l'occasion de sa mort, traduisant cette tradition telle que perçue à l'étranger : « A une époque où faire de l'astronomie sans un télescope géant paraissait presque impossible, il concevait et utilisait avec efficacité des instruments si petits qu'il pouvait les porter sur son dos au sommet du Pic du Midi », « Obituary : Bernard Lyot », *The Observatory*, vo.72, 1952, p.157.

[1060] « Bernard Lyot », MARTRES, Marie-Josèphe, in « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004, p.19.

[1061] « Madame d'Azambuja », MARTRES, Marie-Josèphe, in « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004, p.16-17.

par d'Azambuja à la mort de Pérot pour l'enregistrement et le traitement des spectrohéliogrammes.

L'enseignement de Pérot à l'Ecole Polytechnique a donc indubitablement nourrit l'AP. Mais il faut aussi souligner le caractère de cet enseignement : comme le note Klaus Hentschel, le cours de physique de Pérot, s'il mettait l'accent sur les interférences, suivait les grandes lignes de celui de Cornu vingt ans auparavant, avec seulement certaines mises à jour comme les raies ultimes de Gramont ou les spectrohéliographes de Hale et Deslandres.

3.4.3 « Les physiciens sont partout chez eux », ou l'omniprésence de Charles Fabry

« Etes-vous à Juvisy ? Je l'espère car j'ai le désir de vous avoir à déjeuner jeudi prochain [?] à midi à Bellevue. J'aurai mon collègue Fabry de Marseille, un astronome physicien »[1062]. Telle est l'expression que Deslandres, dans une lettre à Camille Flammarion, utilise pour qualifier son « collègue » de Marseille. Ceci nous informe tout d'abord que Fabry est perçu effectivement comme un astronome physicien par le savant qui à cette époque incarne, à Meudon, la discipline. De plus, on peut observer que ces deux hommes sont en contact, ceci depuis au moins 1905 : à l'occasion de l'éclipse du 30 août 1905, Fabry accompagne la mission organisée par Deslandres[1063] pour y réaliser l'observation photographique du spectre éclair (ce qu'il ne fera pas à cause des conditions météorologiques), la mesure de l'intensité lumineuse totale émise par la couronne solaire, et une mesure de l'éclat intrinsèque en un point de la couronne[1064]. A l'aide d'un photomètre de Lummer, basé sur la comparaison visuelle de deux sources dont l'une est source de laboratoire et utilisant deux miroirs et deux

---

[1062] « Lettre de Henri Deslandres à Camille Flammarion, le 2 août 1907 », *Correspondance Flammarion conservée dans les archives de l'observatoire de Juvisy*.

[1063] Témoin de l'ambiance délétère à l'observatoire de Meudon à cette époque, deux missions indépendantes se rendent en Espagne en 1905. La première, dirigée par Janssen et observant à Alcosèbre, comprend Pasteur, Millochau, Corroyer et Stefanik (voir JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon, tome troisième, premier fascicule*, Gauthier-Villars, Paris, 1906). La seconde, dirigée par Deslandres à Burgos pour le BdL, comprend Kannapel et d'Azambuja de Meudon, Fabry (« venu avec ses propres appareils et un programme particulier), Jean Becquerel (assistant de Physique au Muséum),Bernard (ingénieur des Arts et Manufactures, volontaire depuis deux ans à l'observatoire de Meudon) et sa femme, Blum (instituteur et membre de la SAF), Sausot (étudiant), Fouché (agrégé et vice-président de la SAF). Voir DESLANDRES, Henri, « Note préliminaire sur l'observation de l'éclipse totale du Soleil du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.517-519.

[1064] FABRY, Charles, « Sur l'intensité lumineuse de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.870-873 ; « Sur l'éclat intrinsèque de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.940-942.

prismes[1065], Fabry, utilisant le lux comme unité de mesure, donne pour l'intensité lumineuse de la couronne solaire la valeur de 0,13 lux, soit environ les trois quarts de celle de la pleine Lune. De même, avec un photomètre Mascart modifié, il donne pour valeur de l'éclat intrinsèque de la couronne solaire 720 bougies par mètre carré, soit 28 % celui de la surface lunaire, mesure participant au problème récurrent de l'observation de la couronne hors éclipse, problème qui, nous l'avons vu, sera résolu par Lyot, un scientifique formé par Pérot et Fabry : « Il est donc probable que les parties les plus brillantes de la couronne sont environ 2000 fois moins brillantes que le ciel sur lequel elles se projettent ; ce chiffre suffit à montrer l'extrême difficulté de l'observation de la couronne en dehors des éclipses »[1066]. On voit de plus apparaître le problème d'un phénomène parasite qui deviendra un sujet d'étude en lui-même, à savoir l'éclat du ciel, et qui amènera Fabry vers des problèmes de géophysique : comme Cornu auparavant, Fabry a l'art de détourner les phénomènes annexes pour en faire des sujets d'étude à part entière, émanant en fait d'une recherche visant à améliorer la performance des appareils.

L'intérêt de Fabry pour la couronne solaire est donc dans la lignée de ses travaux photométriques, engagés depuis au moins 1903. A cette date, Fabry cherche à résoudre, toujours dans une visée métrologique, le problème de la photométrie hétérochrome, car, « Dans la comparaison de deux sources de lumières de teintes très différentes, comme un arc électrique et un étalon à flammes, il subsiste une grande part d'incertitude et d'arbitraire»[1067]. Pour pallier à l'impossibilité de disposer d'une infinité de sources de teintes différentes, Fabry met au point un étalon photométrique basé sur ce qui s'appellera la méthode des filtres. Cet étalon est constitué de deux liquides A et B[1068], permettant d'obtenir une infinité de teintes par la variation de leurs épaisseurs x et y. Mais Fabry ne va pas plus loin et ne reprendra ses travaux photométriques qu'en 1913 : il invoque ce délai par les objections de quelques physiciens suite à sa première note dans les *CRAS*, et affirme le rôle primordial joué par l'Illuminating Engineering Society[1069] dans la reprise de ses travaux. Il ne faut pas oublier en

---

[1065] Sur le photomètre de Lummer, voir : JOHNSTON, Sean, F., *A History of Light and Measurement*, Londres, Institute of Physics Pblishing, 2001, p.50.

[1066] FABRY, Charles, « Sur l'éclat intrinsèque de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p. 942.

[1067] FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p. 411.

[1068] Fabry donne ainsi la composition de ces deux liquides : A est constitué de 1g de sulfate de cuivre cristallisé, 100 cm^3 d'ammoniaque à 22°, complété à 1L avec de l'eau ; B est constitué de 1g d'iode, 3g d'iodure de potassium et complété à 1L avec de l'eau. A absorbe ainsi la partie rouge du spectre, et B la partie bleue.

[1069] Fabry publie d'ailleurs son article de 1913 dans les *Transactions of the Illuminating Engineering Society*. On trouvera des informations sur la création de cette société dans JOHNSTON, Sean, F., *A History of Light and Measurement*, Institut of Physics Pblishing, Londres, 2001, p.75-86.

effet que Fabry reprendra le cours de physique industrielle que Pérot occupait à Marseille jusqu'à son départ pour le Laboratoire d'Essais Mécaniques en 1901, et que, par conséquent, Fabry était en phase avec les problèmes d'électrification urbaine et d'éclairage électrique. Son intérêt pour la photométrie est donc à replacer dans un contexte particulier où Fabry a joué un rôle moteur pour la définition des standards et des méthodes de mesures : il va ainsi, à la suite de son article de 1913, transférer sa méthode vers une application astrophysique, à savoir la définition des couleurs et des températures des étoiles. Dans ses *Œuvres Choisies* publiées en 1938, Fabry place ainsi à la suite ses trois articles : « Sur une solution pratique du problème de la photométrie hétérochrome » (paru en 1903 dans les *CRAS*), « Une solution pratique du problème de la photométrie hétérochrome » (paru en 1913 dans les *Transactions of the Illuminating Engineering Society*), et « Emploi d'un filtre bleu pour définir les couleurs et les températures des étoiles » (que Fabry tire de notes inédites écrites en 1913 et 1919, et donc a priori non publiées). Il commence ainsi ce dernier article : « Les essais très sommaires que j'ai faits sur cette question sont une application directe de la *méthode des filtres liquides* que j'ai décrite en 1903 et 1913 […]. En plaçant une épaisseur convenable d'une solution bleue de sulfate de cuivre ammoniacal devant une lampe Carcel (ou une lampe à incandescence à filament de carbone), on peut reproduire la couleur de toute source donnant un rayonnement analogue à celui d'un corps noir à température supérieure à 2000°K. L'épaisseur x, définie plus haut, du liquide bleu caractérise la couleur. La température de couleur T' est donnée par la formule de la page 427[1070] ». Son dispositif vise alors à produire une étoile artificielle dont l'éclat et la couleur sont variables, de façon à égaler l'étoile étudiée ; la mesure de x (épaisseur de liquide absorbant) conduit à la température de couleur de l'étoile. Fabry donne alors comme exemple la valeur de 12 000° pour Sirius, et termine en indiquant comment améliorer la précision des mesures : opérer non sur des points lumineux, mais sur des plages en projetant l'image de l'étoile sur la pupille de l'œil.

En terme de résultats, Fabry annonce donc dès 1903 les rapports Soleil/étoile qu'il a pu mesurer à la Faculté des Sciences de Marseille : 0,75 pour α Centaure, 0,045 pour Sirius, 0,13 pour Procyon, 0,043 pour la Polaire, sont quelques exemple parmi les dix étoiles qu'il a étudiées. En 1910, Fabry publie dans l' *Astrophysical Journal* un article concernant la brillance du ciel nocturne : il annonce pourtant dans cette revue internationale d'importance qu' « en Astronomie, je ne suis qu'un amateur ; les mesures ne peuvent être faites que loin des villes, et les mesures que je viens d'indiquer sont le résultat d'un travail de vacances. Je veux

[1070] A savoir : $x = 165\,000\,(1/T - 1/T')$. La détermination de x permet de trouver T' si T est connue.

seulement indiquer ce qu'il serait possible de faire »[1071]. Son étude de la brillance du ciel nocturne prend place dans la détermination de la distribution dans le ciel des étoiles de différentes magnitudes : « A ces recherches se rattachent quelques uns des problèmes les plus importants de Cosmogonie et de Physique, comme l'absorption de la lumière et la répartition des étoiles dans l'espace », ajoutant alors comment l'acte de mesure peut accompagner des études statistiques alors en vogue sur le sujet : « Les données statistiques qui servent de base pour tous ces calculs sont si difficiles à obtenir qu'il n'est pas sans intérêt de trouver une vérification directe »[1072].

En 1919, Fabry, aidé de Buisson, met au point un microphotomètre dont le principe est basé sur ses études précédentes. L'innovation tient à l'utilisation de la photographie, alors que ses appareils précédents étaient encore basés sur des observations visuelles, donc sujettes à interprétation. Fabry note tous les avantages de la photographie appliquée au problème de la photométrie hétérochrome : reproductibilité et durabilité des documents, intégration en fonction du temps de l'action lumineuse, et surtout exploration de domaines spectraux inaccessibles à l'œil. Pour cela, Fabry introduit dans son protocole l'opacité, définie comme le rapport de l'intensité incidente arrivant sur la plaque photographique sur l'intensité transmise par cette plaque, et également la densité, c'est-à-dire le logarithme de l'opacité. Son appareil produit alors deux faisceaux, l'un traversant un coin photométrique jouant le même rôle que les liquides A et B, et l'autre, à mesurer, traversant la plaque photographique. Si, dans cet article paru dans le *Journal de Physique* de février 1919, Fabry note sommairement que son appareil pourra utiliser la physique pure ou l'astronomie, on en trouve pourtant une description précise dans le *Cours d'Astrophysique* de Bosler en 1928. Louis de Broglie note pour sa part que c'est à l'aide de cet appareil, et en collaboration avec Henri Buisson, que Fabry va étudier le problème de l'absorption par l'atmosphère de l'extrémité ultra-violette du spectre solaire.

Par contre, dès 1903, Fabry expose dans un Congrès de l' *AFAS* les résultats provisoires qu'il a obtenus sur la photométrie du Soleil et des étoiles. Son compte rendu montre ce qu'il ambitionne : permettre la jonction entre physique et astronomie à l'aide d'une métrologie commune, c'est-à-dire par des habitudes et des procédures identiques :

[1071] « The intrinsic brightness of the starlit sky », *The Astrophysical Journal*, t.31, juin 1910, cité in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p. 503.
[1072] *Ibid.*, p.499.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

> La connaissance de l'éclat d'un astre en fonction d'un étalon photométrique bien déterminé n'est pas non plus sans intérêt. Ce nombre permet de relier l'unité photométrique des astronomes à celle des physiciens. Il est vrai qu'il dépend des conditions variables de l'absorption atmosphérique ; mais, à cause de cela, ces mesures permettraient d'avoir des données numériques précises sur la transparence de l'atmosphère aux divers lieux et sur ses variations avec le temps.[1073]

Ainsi, l'étalon photométrique de Fabry joue le même rôle que l'étalon interférentiel : permettre le dialogue entre physiciens et astronomes. Dans cette tentative, l'atmosphère apparaît comme un phénomène à définir parfaitement sur le plan photométrique mais aussi spectroscopique (absorption de certaines parties du spectre). D'où son intérêt constant pour la géophysique, la haute atmosphère étant perçue chez Fabry comme une zone de passage entre la Terre et le Ciel, entre la physique terrestre et la physique céleste, entre le laboratoire et l'univers, entre la géophysique et l'astrophysique : « Nous sommes ici, en quelque sorte, sur la frontière de deux sciences : l'astronomie où notre seule ressource est dans *l'observation*, aidée il est vrai par tous les raffinements de la technique, et la physique, où l'on peut *expérimenter* »[1074]. On comprend mieux dès lors la spécificité de l'approche épistémologique de Fabry : les mêmes instruments, les mêmes méthodes doivent s'appliquer aux divers domaines car il n'existe pas de rupture, juste une zone limite les séparant, à savoir la haute atmosphère. Astrophysique ou géophysique sont concernés par les mêmes sujets, conception qui rend bien évidemment l'idée d'une spécialisation et d'un fonctionnement autonome des disciplines difficile : là encore, l'idée sous-jacente d'unité que nous avons déjà rencontrée façonne des pratiques spécifiques.

L'atmosphère devient alors un sujet que Fabry va explorer par de nombreux moyens. Après la photométrie, c'est dans le domaine de la spectroscopie que Fabry tente de déterminer la limite du spectre solaire dans l'utra-violet, reprenant ainsi les travaux de Cornu. Réalisées en 1912-1913 puis reprises en 1919, les études de Fabry et Buisson ont porté sur la détermination des coefficients d'absorption de l'ozone d'un côté et de l'atmosphère de l'autre, aboutissant à une coïncidence parfaite entre les deux courbes : c'est ainsi que Fabry réussit à identifier le gaz inconnu que Cornu, en 1881, suspectait de produire cette absorption. Le principe de la mesure de l'absorption atmosphérique en fonction de la longueur d'onde reposait sur la méthode de Bouguer, à savoir la détermination de la croissance d'intensité d'une radiation lorsque la

---

[1073] FABRY, Charles, « Comparaison de la lumière du Soleil avec celles des étoiles. Recherches de photométrie solaire et stellaire », *AFAS*, 1903, cité in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 484.

[1074] FABRY, Charles, *Physique et Astrophysique*, Paris, Flammarion, 1935, p.151.

distance zénithale du Soleil va en croissant. Et c'est à l'aide de son microphotomètre (mesure des densités de plaque) que Fabry va réaliser la mesure de l'intensité de différentes radiations. Fabry affirme donc en 1913 la présence d'ozone dans la haute atmosphère, et ceci à très haute altitude, probablement 50 km.[1075]

Mais Fabry est, comme son élève Daniel Chalonge le soulignera plus tard, un « physicien de la lumière »[1076] : ce qui l'intéresse tient plus dans les accidents que peut subir la lumière lors de son passage dans l'atmosphère que l'atmosphère elle-même. C'est pour cela qu'il s'intéressera, outre à l'absorption atmosphérique, à la diffusion de la lumière dans les gaz et notamment l'atmosphère terrestre. Fabry se base pour cette étude sur la loi découverte par Rayleigh pour décider de l'état des matières qu'il étudie : une diffusion par un solide ou par un gaz aboutit à un répartition différente des radiations dans le spectre de la lumière diffusée, à savoir une forte prédominance des radiations de faible longueur d'onde pour la lumière diffusée par un gaz (variation en λ^{-4})[1077]. Fabry décline alors plusieurs applications de la théorie. Les hautes couches de l'atmosphère terrestre peuvent notamment être accessibles à l'aide des dernières traces de la lumière crépusculaire, rendant possible l'analyse spectrale de la très haute atmosphère. Mais Fabry explore d'autres objets célestes par le biais de la diffusion par les gaz : en supposant la nature gazeuse des queues cométaires, il calcule par exemple qu'une queue de comète de 20 rayons terrestres et d'une densité de 10^{-11} par rapport produirait une lumière suffisamment brillante pour être visible. Appliquée à la couronne solaire supposée gazeuse, Fabry tire la conclusion que la couronne doit être d'une densité de l'ordre de 10^{-10}. De plus, en tenant compte de l'effet Doppler-Fizeau qui élargit les radiations monochromatiques constituant le fond continu du spectre de la couronne, entraînant une disparition des raies noires qui les jouxtent, Fabry tire la conclusion que la couronne est constituée d'un gaz diffusant à température élevée et de poids moléculaire faible.

L'interférométrie est un autre aspect important de l'implication de Fabry dans le domaine de l'AP, car, à l'instar de Pérot, Fabry va appliquer les étalons interférentiels dans le domaine de l'astronomie. Dans le cadre du travail sur les gaz lumineux que nous avons vu plus haut,

---

[1075] FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Etude de l'extrémité ultraviolette du spectre solaire », *Journal de* Physique, t.2, 6e série, 1921, cité in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p. 552-584.

[1076] CHALONGE, Daniel, «Charles Fabry (1867-1945)», *L'Astronomie*, 1947, p.245.

[1077] FABRY, Charles, « Rmarques sur la diffusion de la lumière diffusée par un gaz », *Journal de* Physique, mai-juin 1917, cité in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p. 521-534.

Fabry va étudier plus particulièrement les possibilités astronomiques offertes par la détermination de la largeur des raies spectrales et la théorie cinétique des gaz, car, selon lui, « Toute découverte en Optique donne l'espoir d'une découverte en Astronomie »[1078]. En partant du fait qu'une raie spectrale possède une largeur finie due à l'agitation des molécules du gaz, Fabry va chercher à tirer un certain nombre d'informations de cette mesure rendue possible par la précision offerte par le perfectionnement des appareils interférentiels. En effet, en supposant selon la théorie cinétique des gaz que toutes les particules de ce gaz sont en continuelle agitation (et donc que leurs vitesses prennent toutes les orientations possibles), on peut trouver une relation entre l'ordre d'interférence limite (où les anneaux d'interférence cessent d'être visibles), la température du gaz et sa masse moléculaire :

$$N = 1{,}22.10^{6}.\sqrt{\frac{m}{T}}$$

Fabry va tout d'abord vérifier cette formule par des mesures sur les gaz rares de l'atmosphère (hélium, néon, krypton), en précisant bien que son travail constitue une confirmation directe par la mesure de la vitesse des particules, aboutissant à une mesure quasi imagée : « On voit les molécules se déplacer, comme on voit tourner le Soleil en comparant le spectre des deux bords »[1079]. L'application astronomique de cette méthode représente donc un exemple parmi d'autres, car Fabry cite également l'étude des masses des particules lumineuses, ou de la température des gaz lumineux. C'est alors à partir de 1910 que Fabry, aidé de Buisson, transfère ses idées du laboratoire à l'observatoire. Fabry va adapter son instrument sur le télescope de Foucault de l'observatoire de Marseille (80 cm de diamètre et 4,50 m de foyer), et étudier « la grande masse de gaz lumineux qui constitue la nébuleuse d'Orion »[1080].

<u>Fig. 3.4.2</u>. : Dispositifs interférentiel (échelle ¼) et pour l'observation visuelle (échelle 1/10) ; photographie du dispositif monté sur le télescope de Foucault de 80 cm de l'observatoire de Marseille.

<u>Source :</u> BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Paris, Librairie scientifique Hermann et Cie, 1928, p.628 ; FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.263-264

[1078] FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « La largeur des raies spectrales et la théorie cinétique des gaz », *Journal de Physique*, juin 1912, in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 252.

[1079] *Ibid*., p.243.

[1080] FABRY, Charles, *Les Applications des interférences lumineuses*, Paris, Editions de la Revue d'Optique théorique et instrumentale, 1923, p.145

La moisson d'informations réalisée par ce seul procédé est importante[1081]. Fabry donne comme température de la nébuleuse la valeur de 15 000°, valeur très différente des estimations de l'époque, notamment celle d'Arrhenius qui attribuait à la nébuleuse une température proche du zéro abolu ; la comparaison avec les anneaux formés par un tube à hydrogène le conduit à une vitesse radiale moyenne d'éloignement de 15,8 km/s ; enfin il précise la longueur d'onde et le poids atomique du prétendu 'nébulium', compris entre 2 et 3[1082].

Fig. 3.4.3. : Interférences dans la nébuleuse d'Orion
Source : FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.272.

Fig. 3.4.4. : Anneaux d'interférence produits par la raie Hγ, dans la nébuleuse d'Orion et un tube à hydrogène.
Source : FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.304

Les articles de Fabry, d'être publiés dans le *Journal de Physique* ou les *CRAS* notamment, apparaissent souvent aussi dans l'*Astrophysical Journal*. Ceci, nous l'avons déjà dit, montre la diffusion internationale de ses travaux dans le domaine de l'AP, accompagnée par sa participation active aux congrès de l'International Union for Cooperation in Solar Researches dès ses débuts. En France, Fabry va prendre dans l'immédiat après-guerre un rôle prépondérant dans l'enseignement et la direction de la physique. Ainsi, il occupe en 1920 la

[1081] Voir FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Application of the interference method to the study of nebulae », *The Astrophysical Journal*, vol.33, 1911, p.406-409 ; FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Application des interférences à l'étude de la nébuleuse d'Orion », *Journal de Physique*, mai 1914, in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 258-276 (cet article paraît également dans l'*Astrophysical Journal* en octobre 1914 ; FABRY, Charles, *Les Applications des interférences lumineuses*, Paris, Editions de la Revue d'Optique théorique et instrumentale, 1923, p.145 ; BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Paris, Librairie scientifique Hermann et Cie, 1928, p.627-631 ; DE BROGLIE, Louis, *Savants et découvertes*, Paris, Albin Michel, 1951, p.217 ; GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, « Marseile et la naissance de la spectroscopie interférentielle », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.142.

[1082] C'est en 1927 que Bowen apportera l'explication des raies du nébulium, à savoir des raies interdites de l'azote et de l'oxygène.

chaire de physique de la Sorbonne, et en 1926 remplace Pérot comme professeur de physique à l'Ecole Polytechnique. Durant la première guerre mondiale, il crée l'Institut d'Optique Théorique et Appliquée avec Armand de Gramont et Henri Chrétien[1083] : cet événement est le fruit de collaborations nées durant la guerre à l'occasion de laquelle ces savants ont pris conscience du retard important pris par la France dans un domaine où celle-ci a toujours joué dans le passé un rôle important. C'est notamment la Direction des Inventions intéressant la Défense Nationale (où nous avons déjà rencontré Charles Nordmann) qui va regrouper les trois personnages[1084] : Fabry prend en effet en 1916 la direction de la section de physique de cette Direction issue, à l'automne 1915, de la commission supérieure d'examen des inventions intéressant la défense nationale créée par décret le 11 août 1914[1085]. C'est là qu'il collabore avec Gramont, qui lui-même travaille beaucoup avec Henri Chrétien, le fondateur et directeur du Bureau de Calcul de la Section Technique de l'Aéronautique. Tous trois prirent d'ailleurs part à la mission Viviani-Joffre qui se rendit en avril 1917 aux Etats-Unis de façon, selon Fabry, à « mettre les officiers et les savants américains au courant des applications militaires de la physique »[1086]. La collaboration scientifique née de la Direction des Inventions aboutira à la création d'une commission réunissant le général Bourgeois, le constructeur Jobin (polytechnicien comme Fabry, avec qui il avait souvent travaillé), Gramont, Cotton, Poincaré, Lippman et Fabry, commission qui créera officiellement l'Institut d'Optique en mars 1917. En février 1919, Fabry prend la direction de ce nouvel établissement, et ceci jusqu'en 1921, au moment où il est nommé professeur à la Sorbonne. Sans entrer dans le détail d'une institution qui nous amènerait à dépasser la limite de notre étude, nous pouvons simplement dire que cet Institut va devenir un lieu de recherche et d'enseignement que fréquenteront un nombre important de futurs astrophysiciens. Il comprend tout d'abord une Ecole supérieure d'Optique destinée à produire des ingénieurs opticiens, « qui formeront les cadres de l'industrie de l'Optique »[1087] ; une Ecole professionnelle reçoit quant à elle des enfants de 13 à 15 ans et leur délivre après trois années un diplôme d'ouvrier opticien ; des cours du soir, appelés « enseignements de perfectionnement » s'adressent aussi à des personnes appartenant déjà à l'industrie ; un centre de documentation assure la diffusion des principaux périodiques

[1083] Voir à ce sujet BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.54-55 notamment.
[1084] Sur cet organisme qui semble avoir joué un rôle prépondérant dans certains aspects de la science d'après-guerre, on pourra consulter la thèse récemment soutenue par Anne-Laure ANIZAN : *Paul Painlevé (1863-1933). Un scientifique en politique*, these soutenue le 13 juin 2006 à l'Institut d'Etudes Politiques de Paris.
[1085] *Ibid.*, p.237.
[1086] Cité in BIGG, Charlotte, *op.cit.*, p.53.
[1087] FABRY, Charles, « L'Institut d'Optique Théorique et Appliquée », *Revue Internationale de l'Enseignement*, septembre-octobre 1928, in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 613

internationaux. Un laboratoire occupe, pour sa part, une « position centrale »[1088] : Servant pour l'enseignement, il joue aussi le rôle de laboratoire de mesures et d'essais pour l'industrie, mais aussi celui d'un lieu de recherches. Enfin, l'Institut d'Optique se dotera d'une revue propre, la *Revue d'Optique théorique et instrumentale*, qui assurera la diffusion d'un grand nombre d'articles consacrés à l'astronomie physique, et dont le dépouillement serait d'une grande utilité pour l'étude de la discipline entre 1920 et 1940. La place importante qu'occupera Fabry au sein de cet Institut lui permettra bien évidemment de former de nombreux élèves à ses méthodes, de les amener vers des problématiques et des recherches débutées avant la guerre : « Charles Fabry y fut à la fois le Directeur qui administre, le Professeur qui enseigne, le Maître qui conseille, le Savant qui entreprend ou qui fait entreprendre des recherches nouvelles »[1089].

La liste que nous avons pu tirer du *Dictionnaire des Astronomes* de Philippe Véron concernant les scientifiques ayant suivi les cours de Fabry à l'Institut d'Optique, à la Sorbonne ou l'Ecole Polytechnique est plus qu'éloquente sur l'influence que Fabry aura dans la période de l'entre-deux-guerres. Nous ne citerons donc que quelques exemples pour illustrer ce point. Dès avant la guerre, Fabry accueillera dans son laboratoire de Marseille Jean Cabannes, un jeune normalien[1090]. Entre 1910 et 1914, il travaille avec Fabry sur la diffusion de la lumière par les molécules atmosphériques, l'amenant en 1921 à soutenir une thèse : *Sur la diffusion de la lumière par les molécules des gaz transparents*. A la suite de Fabry, Cabannes va travailler notamment sur l'épaisseur et l'altitude de la couche d'ozone, sur la lumière du ciel nocturne, sur la présence du sodium dans la haute atmosphère à l'aide d'étalons interférentiels. Jean Dufay, lui aussi élève de Fabry et Cabannes et qui soutiendra en 1928 une thèse sur la lumière du ciel nocturne, dira de Cabannes qu' « il a contribué, comme Ch. Fabry, à orienter vers l'astrophysique et l'étude de la haute atmosphère nombre de jeunes physiciens. C'est à lui que nous devons d'avoir encore aujourd'hui en France une école d'optique atmosphérique bien vivante et de bonne renommée. Bien des chercheurs de nos Observatoires et Instituts de Physique du Globe peuvent, à juste titre, être rangés parmi ses disciples, même quand ils n'ont pas eu la bonne fortune de profiter directement de ses leçons »[1091].

[1088] *Ibid.*, p.615.
[1089] DE BROGLIE, Louis, *Savants et découvertes*, Paris, Albin Michel, 1951, p.226.
[1090] Voir DUFAY, Jean, « Jean Cabannes (1885-1959) », *Annales d'Astrophysique*, 23e année, n°4, juillet-août 1960, p.499-503.
[1091] *Ibid.*, p.503.

Jean Lagrula fréquentera pour sa part l'Ecole Polytechnique (promotion 1926), et l'Ecole Supérieure d'Optique (promotion 1931). Il sera aide astronome à l'observatoire d'Alger à partir de 1931, puis directeur en 1961 de l'Institut de météorologie et de physique du globe et enfin physicien titulaire à l'Institut de Physique du Globe de Paris entre 1968 et 1975. De 1961 à 1968, il sera professeur d'astronomie, de mécanique et de géophysique à la faculté des sciences d'Alger. En 1937, il soutient à Paris une thèse de doctorat ès sciences physiques sur le perfectionnement des méthodes photographiques en photométrie astronomique différentielle, poursuivant ainsi le domaine de la photométrie abordé par Fabry.

Enfin, comme dernier exemple de l'influence de Fabry en astrophysique, nous pouvons citer Daniel Chalonge. Reçu à l'ENS en 1916 et agrégé de physique en 1921, il fréquentera alors en tant qu'assistant le laboratoire de Fabry à la Sorbonne. Aide astronome à l'OP en 1932, il soutient l'année suivante une thèse sur les spectres continus de l'atome et de la molécule d'hydrogène qui l'amènera, d'abord avec Jules Baillaud puis avec Daniel Barbier, à une classification spectrophotométrique des étoiles. Il sera l'instigateur, avec Henri Mineur et Barbier, de l'Institut d'Astrophysique de Paris au milieu des années 1930, première véritable institution dédiée à l'astrophysique en France, qui s'accompagnera également d'une revue consacrée à la discipline, les *Annales d'Astrophysique*. Comme de nombreux élèves de Fabry, il s'intéressera autant à l'astrophysique qu'à la géophysique : il publiera ainsi en 1942, avec Barbier, un ouvrage consacré à cette dernière discipline, *De la stratosphère à l'ionosphère.*[1092]

Finalement, Fabry marque profondément la fin de la période qui fait l'objet de notre étude. Un aspect important de son influence est la non-séparation entre l'astrophysique et la géophysique. Le message de Fabry est fort lorsqu'il écrit que « tout se tient dans l'Univers. Aucun fossé ne sépare la Physique terrestre de l'Astronomie. Il n'y a pas de frontière entre la Terre et les Cieux »[1093]. Astrophysique et géophysique sont avant tout une physique de la Nature, l'atmosphère étant un lieu d'étude commun :

> Dans cette région méprisée des astronomes parce que trop proche et dénuée de points de repères pour leurs observations précises et leurs splendides calculs, indifférente aux météorologistes qui ne peuvent y trouver

[1092] BARBIER, Daniel, CHALONGE, Daniel, *De la stratosphère à l'ionosphère*, Paris, PUF, 1942.

[1093] FABRY, Charles, « Sur les confins de la Terre et du Ciel », *Discours à la séance publique des cinq Académies le 24 octobre 1936*, in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 632.

ni pluie ni beau temps, les physiciens, qui sont partout chez eux puisque leur domaine est « la Nature », se sont bravement installés et, dans ce désert, quelques fois par hasard, ont découvert des trésors.[1094]

A la fois nombre d'astrophysiciens et de géophysiciens pourront se réclamer de son influence, comme l'exprime Emmanuel Davoust : « Fabry et Cabannes sont devenus le dénominateur commun de la plupart des chercheurs qui étudient la physique de l'atmosphère au Pic du Midi »[1095]. Les physiciens sont donc partout chez eux, devenant astrophysiciens ici ou géophysiciens là, leur arme étant la métrologie comme nous l'avons vu. Pour Fabry, la métrologie et les étalons de mesure qui en découlent permettent le lien entre les disciplines, et assurent l'utilisation de méthodes identiques malgré la spécificité de chaque domaine :

Qu'il s'agisse de la lumière des astres ou de celle qui est émise par nos sources terrestres, la photométrie, science de la mesure de la lumière, doit évidemment reposer sur les mêmes principes, employer les mêmes définitions et se servir des mêmes méthodes. Il se trouve cependant que la photométrie céleste et celle des physiciens se sont développées presque indépendamment l'une de l'autre, que leurs vocabulaires ne sont pas les mêmes, que leurs unités n'ont rien de commun, pour tout dire qu'elles s'ignorent presque entièrement. Je me propose, dans cet opuscule, d'exposer les principes des deux sciences et d'indiquer le lien entre les modes d'expressions dont elles se servent.[1096]

C'est en cela que tient l'une des spécificités de l'astrophysique française qui se dessine avec Fabry, à savoir la conséquence d'une « liaison durable » voulue entre les diverses sciences physiques, selon l'expression de Louis de Broglie, ceci par l'unité des méthodes, des mesures, et donc la circulation de ces méthodes dans les différents laboratoires. Fabry et le groupe, en partie polytechnicien, dont il fait partie, a réalisé une œuvre importante pour la structuration de l'astrophysique, en créant passerelles et ponts indispensables à la diffusion de méthodes communes.

Mais l'analyse faite par Dominique Pestre souligne aussi l'approche classique que Fabry illustre. Celui-ci, personnage représentatif de la physique expérimentale pratiquée en France au début XX^{ème} siècle, est peu attiré par la théorisation : comme nous l'avons remarqué au sujet de Deslandres, l'astrophysique est, avec Fabry, une science des phénomènes héritée du

---

[1094] *Ibid.*, p.626.
[1095] DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, Paris, CNRS Editions, 2000, p.209.
[1096] FABRY, Charles, « Les principes de la Photométrie en Astronomie et en Physique »,in FABRY, Ch., VILLAT, H., VILLEY, J.(dir.), *Mémorial des Sciences Physiques*, Paris, Gauthier-Villars, 1934, p.1.

XIX^{ème} siècle, où la proposition d'hypothèses est évitée. De plus, Fabry reste cantonné à l'optique et à l'électricité, en traitant de façon marginale dans ses cours et dans sa recherche des thèmes émergents comme la mécanique quantique ou la relativité générale[1097]. Pestre classe ainsi Fabry parmi les physiciens de droite, les « héritiers », emblématique d'une physique plutôt positiviste, basée sur les faits et le refus de l'hypothèse. Il illustre aussi parfaitement un système centralisé, « monopole des déjà pourvus »[1098], lui qui a accumulé les chaires d'enseignement à la Sorbonne, à l'Ecole Polytechnique puis à l'Institut d'Optique, ralentissant nécessairement la percée d'idées nouvelles dans une astrophysique en train de se structurer.

3.4.4 Entre tradition et modernité : Jean Bosler, acteur et critique

« Bosler est […] en France un artisan de l'évolution de l'astronomie traditionnelle vers l'astrophysique »[1099]. Cette réflexion de l'astronome Yvon Georgelin[1100] nous invite à considérer le rôle de Jean Bosler dans la construction de l'AP au début du XX^{ème} siècle. En effet, à l'instar de Cornu, Deslandres, Pérot et Fabry, Bosler est un polytechnicien[1101]. Après avoir intégré l'Ecole Polytechnique en 1898[1102], il obtient ensuite sa licence ès sciences (certificats de calcul différentiel et intégral, mécanique rationnelle, astronomie, physique générale et mécanique céleste -cours de Henri Poincaré-), puis un doctorat en sciences mathématiques. Il commence alors comme actuaire pour le compte des chemins de fer de l'Etat, ce qui l'amènera à se rendre à New York en 1903 comme délégué de l'Institut des actuaires français à l'occasion d'un congrès international. De 1905 à 1907, Bosler devient

---

[1097] Voir PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992, p.34. ; HENTSCHEL, Klaus, Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching, Oxford, Oxford University Press, 2002, p.419.

[1098] PESTRE, Dominique, *op.cit.*, p.216.

[1099] GEORGELIN, Yvon, « Jean Bosler, les cratères lunaires, et la raie rouge du 'coronium' », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.70.

[1100] Yvon Georgelin, ancien directeur de l'observatoire de Marseille, a découvert dans les années 1970 la structure spirale, à quatre bras, de la Voie Lactée. Sa femme, Yvonne Georgelin, qui fut également astronome à Marseille, est la fille de Robert Jonckheere qui a travaillé avec Bosler à l'observatoire de Marseille

[1101] A notre connaissance, seules deux biographies de Bosler existent, écrites par deux astronomes de l'observatoire de Marseille, Charles Fehrenbach et Yvon Georgelin : FEHRENBACH, Charles, «Jean Bosler (1878-1973)», *L'Astronomie*, 1975, p.220-221 ; GEORGELIN, Yvon, « Jean Bosler, les cratères lunaires, et la raie rouge du 'coronium' », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.70-91. Nous nous sommes également appuyé sur son dossier aux *Archives de l'AdS* et à l'Ecole Polytechnique.

[1102] Bosler fut également reçu à l'Ecole Normale Supérieure, mais choisira l'Ecole Polytechnique.

stagiaire à l'OP, attaché au Service méridien et équatorial. En 1907, il occupe un poste d'aide astronome à l'observatoire de Meudon, et soutient alors en 1912 une thèse, sous la direction de Poincaré, sur les relations entre orages magnétiques et les phénomènes solaires, thèse honorée d'un prix de l'AdS en 1913. Il revient ensuite à Paris en 1920 où il intègre le Service de la Carte du Ciel[1103]. Enfin, il est chargé en 1923 de la direction de l'observatoire de Marseille, observatoire quasi abandonné après la première guerre mondiale, avec pour mission d'y développer l'AP. Il dirigera cet observatoire jusqu'en 1948.

Entre 1907 et la première guerre mondiale, Bosler travaille principalement sur les spectres des comètes, mais également sur les spectres des étoiles et les relations entre phénomènes solaires et terrestres. C'est Deslandres qui l'initie à la spectroscopie et le dirige vers ses propres problématiques, à savoir l'explication cathodique des phénomènes célestes : les premiers travaux de Bosler à Meudon apportent à Deslandres des données spectrales à l'appui de ses idées sur la nature de la lumière cométaire, à savoir une phosphorescence d'origine cathodique, les queues multiples des comètes étant vues comme la division des rayons cathodiques émanés du Soleil en rayons simples, telles les apparences obtenues au laboratoire dans les tubes à gaz raréfié.

Fig. 3.4.5 : Spectres cométaires.
Source : BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.426.

Ainsi, de 1907 à 1914, Bosler va réaliser l'observation spectroscopique d'au moins cinq comètes, avec l'objectif de déterminer précisément la longueur d'onde des raies cométaires, et la nature des produits chimiques qui les composent (hydrocarbures, cyanogène notamment)[1104].
Par ce biais, Bosler s'intéresse alors aux interactions entre les phénomènes solaires et terrestres, ce qui constituera le sujet de sa thèse. Dans l'avant-propos de celle-ci, Bosler remercie notamment Deslandres et Pérot (avec qui il a travaillé sur la luminescence de l'arc

[1103] Yvon Georgelin semble évoquer une rivalité naissante entre Bosler et Deslandres.
[1104] BOSLER, Jean, « Sur le spectre de la comète Daniel 1907 d », *CRAS*, t.145, 1907, p.686-687 ; « Complément et résumé des observations faites à Meudon sur la comète Morehouse», *CRAS*, t.148, 1909, p.805-812 ; « Sur les variations d'éclat de la comète Encke et la période des taches solaires », *CRAS*, t.148, 1909, p.1738-1740 ; « Sur le spectre de la comète de Brooks », *CRAS*, t.154, 1911, p.756-757 ; « Sur le spectre de la comète Metcalf 1913 b », *CRAS*, t.157, 1913, p.539.

au mercure) pour les conseils et l'appui qu'ils lui ont apporté. L'influence apparaît dans son travail, où études cométaires et solaires se rejoignent, principalement par l'étude des rayons cathodiques. Dans l'historique préalable qu'il réalise sur le sujet, Bosler souligne le renouveau apporté par Goldstein, Deslandres, Birkeland ou Störmer grâce à leurs travaux sur les rayonnement cathodique, et précise comment les « dernières recherches sur les spectres des comètes, recherches qui tendent à assimiler leur rayonnement à celui du pôle négatif d'un tube de Crookes ([…] cette idée fut suggérée à M. Deslandres en 1896 par la théorie cathodique, et confirmée par la présence, dans le spectre de certaines comètes, d'une bande du spectre cathodique de l'azote observée par lui autrefois au laboratoire : elle a été brillamment confirmée par la belle expérience de M. Fowler[1105]), ne peuvent que favoriser cette idée »[1106].

En 1914, Bosler observe également une éclipse de Soleil en Suède avec Block, un astronome suédois de l'observatoire de Lund. Il découvre à cette occasion une nouvelle raie rouge dans le spectre de la couronne (à la longueur d'onde λ = 637,45 nm à 0,02 nm près) , alors que la raie verte , dite du 'coronium', n'était pas visible. Bosler notera juste à cette occasion « la disparition du constituant gazeux le plus habituel de la couronne solaire […] s'accompagne de la production d'un nouvel élément (ou, à défaut, d'un changement dans les conditions physiques) en relation probable avec le cycle undécennal des taches »[1107]. Mais c'est finalement une attitude de 'docte ignorance', pour reprendre l'expression de Jacques Merleau-Ponty, qui prévaut à cette occasion comme souvent chez Bosler : il énonce les hypothèses en cours les plus probables pour expliquer les observations, à savoir par exemple les phénomènes de fluorescence pourtant critiqués par Lockyer selon lui.

Enfin, Bosler va également s'intéresser aux étoiles, notamment à la nova apparue en 1912 dans la constellation des Gémeaux, et aussi aux étoiles de Wolf-Rayet[1108]. La perspective cosmogonique de ses travaux est explicite : « Les rapports de ces astres [les étoiles de Wolf-Rayet] avec les Novae et avec les nébuleuses planétaires sont cependant devenus aujourd'hui si évidents qu'ils attirent de plus en plus l'attention sur eux et leur intérêt cosmogonique de

---

[1105] Cet astronome anglais a en effet reproduit en 1909 le spectre de la comète Morehouse au laboratoire par le spectre cathodique d'un mélange de gaz carbonés très raréfiés. FOWLER, A., « Terrestrial reproduction of the spectra of the tails of recent comets », *MNRAS*, vol.70, 1909, p.176-183.

[1106] BOSLER, Jean, *Sur les relations des orages magnétiques et des phénomènes solaires*, thèse présentée à la faculté de Paris en 1912, Gauthier-Villars, Paris, 1912.

[1107] BOSLER, Jean, BLOCK, H., « Observations de l'éclipse de Soleil du 21 août 1914, faites à Strömsund (Suède), par la mission de l'Observatoire de Meudon », *CRAS*, t.159, 1914, p.768.

[1108] Voir notamment : BOSLER, Jean, IDRAC, Pierre, « Sur le spectre de l'étoile nouvelle des gémeaux », *CRAS*, t.154, 1912, p.961-962 ; BOSLER, Jean, « Sur la région rouge du spectre des étoiles de Wolf-Rayet », *CRAS*, t.160, 1915, p.124-128 ; « Les étoiles nouvelles », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.29, 1918, p.629-638.

premier ordre est déjà hors de doute »[1109]. Les travaux de Bosler se comprennent dans la lignée des idées sur l'évolution des étoiles, recherches marginales en France, mais objet d'études plus poussées aux USA surtout. En effet, l'analyse spectroscopique des étoiles de Wolf-Rayet et des Novae faite par Bosler vise à identifier des raies qui s'avéreraient communes entre les Novae, les nébuleuses planétaires et les étoiles de Wolf-Rayet. En 1912, l'étude d'une étoile nouvelle apparue dans la constellation des Gémeaux l'amène à penser que les nébuleuses planétaires constitue le « terme final de l'évolution des Novae »[1110] ; tandis qu'en 1915 il complète cette idée en proposant que « les étoiles de Wolf-Rayet ne sont que les vestiges affaiblis d'anciennes Novae apparues au cours des siècles passés »[1111].

Mais plus que son travail de scientifique, c'est le rôle d'observation et de synthèse des travaux réalisés à l'étranger qui nous apparaît prépondérant chez Bosler. Il va ainsi publier plusieurs ouvrages d'importance sur le Soleil et les étoiles dans les années 1910. Dès le début de cette décennie, Bosler discute de façon approfondie l'ensemble des idées et des théories solaires, depuis les théories météorologiques (Zöllner, Oppolzer), en passant par les théories optiques expliquant les phénomènes solaires comme des illusions d'optique (Schmidt, Julius), les hypothèses mettant en jeu la chute des astéroïdes (Mayer) ou la contraction du Soleil (Helmholtz, W. Thomson) pour expliquer l'origine de l'énergie solaire, pour terminer sur les théories électromagnétiques (Ebert, Nordmann, Arrhenius, Deslandres), notant au passage l'importance du spectrohéliographe de Deslandres, méthode « qui nous fournit déjà les documents peut être les plus certains que nous ayons sur le Soleil »[1112].
La même année 1910, Bosler accompagne les nombreux astronomes et physiciens français pour le Congrès des Recherches Solaires organisé par Hale. Il visite à cette occasion les observatoires américains et publie à son retour un article sur l'astronomie américaine plus qu'élogieux sur l'état de la science dans ce pays, mais qui est surtout une critique de la situation française et une analyse en creux des spécificités de l'astronomie française comparée au dynamisme et au gigantisme de l'astronomie outre-atlantique. Nous avons déjà signalé (chapitre 3.1) la façon dont Bosler pointe dans cet article la prétention française concernant l'administration des observatoires, ainsi que la faiblesse d'investissement des fortunes privées

[1109] BOSLER, Jean, « Sur la région rouge du spectre des étoiles de Wolf-Rayet », *CRAS*, t.160, 1915, p.124.
[1110] BOSLER, Jean, IDRAC, Pierre, « Sur le spectre de l'étoile nouvelle des gémeaux », *CRAS*, t.154, 1912, p.962.
[1111] BOSLER, Jean, « Sur la région rouge du spectre des étoiles de Wolf-Rayet », *CRAS*, t.160, 1915, p.127.

[1112] BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Doin et Fils Editeurs, Paris, 1910, p.344.

dans le domaine scientifique en France. Surtout, Bosler soulève le caractère très français de la recherche de la précision, à la fois dans les résultats et dans la confection des appareils. Il note par exemple la diffusion du prisme-objectif pour les recherches de spectroscopie stellaire qui « permet d'enregistrer à la fois les spectres de toutes les étoiles visibles dans un champ donné, et cela en perdant bien moins de lumière qu'avec un spectroscope à fente », mais dont l'inconvénient réside dans le manque de précision empêchant « en dépit des inventions les plus ingénieuses, […] faute de point de repère, de mesurer sérieusement des vitesses radiales »[1113] ; nous avons largement montré ci-dessus comment la recherche de la précision a constitué un but à atteindre chez les Pérot et Fabry, la collecte de données massives n'entrant pas dans leur démarche et leur horizon scientifique. Plus loin, Bosler est plus qu'explicite sur la différence de conception même des appareils, entre la France et les USA :

> On saisit là sur le vif combien les méthodes des constructeurs américains diffèrent des nôtres, combien peu elles s'inquiètent de routines ailleurs religieusement suivies. Nos grands instruments semblent toujours faits suivant des règles de métier, très éloignées de la pratique industrielle. Telle n'est pas le cas des grandes lunettes américaines : leurs organes, plus massifs et aussi moins fragiles, ressemblent à des volants, à des coussinets de machines ; comme dans l'industrie, on demande à des effets d'inertie la régularité du fonctionnement plutôt qu'aux raffinements de l'exécution. La précision devient, en effet, illusoire là où des flexions, des écrasements viennent constamment tendre à détruire la perfection des surfaces et de leur ajustage.[1114]

Bosler se fait le porte-parole de l'admiration des savants français pour la science américaine. La citation ci-dessus montre comment Bosler souligne la spécificité française que Cornu a incarnée et transmise, à savoir la recherche de la précision, l'élégance, le raffinement et la simplicité des méthodes.

Comme nous l'avons rapidement évoqué plus haut, Bosler participe à introduire l'idée d'évolution des étoiles. Nous avons vu que dès 1912, il évoque les liens cosmogoniques entre nébuleuses planétaires, novae et étoiles de Wolf-Rayet. En 1918, il reprend cette conception dans un article paru dans la *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*[1115], la renforçant des récents travaux, surtout américains, concernant ces divers astres. Il évoque notamment les indices qui amènent à penser à l'évolution stellaire, à savoir la même

---

[1113] BOSLER, Jean, «Les récents progrès des méthodes astrophysiques aux Etats-Unis», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.22, 1911, p.103.
[1114] *Ibid.*, p.108.
[1115] BOSLER, Jean, « Les étoiles nouvelles », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.29, 1918, p.629-638.

distribution dans le ciel des étoiles de Wolf-Rayet et des novae (elles sont toutes dans la Voie Lactée), l'évolution de leurs spectres dans le temps, la présence dans leurs spectres de raies identiques (notamment le prétendu nébulium encore inobservé sur Terre), le même ordre de grandeur des parallaxes des étoiles de la classe O (selon la classification de Harvard) et des nébuleuses planétaires, ainsi que l'observation d'étoiles de Wolf-Rayet au centre de nébuleuses planétaires. Il termine son article en évoquant les hypothèses proposées de ces observations, en s'aventurant « sur le sol moins aride, mais plus mouvant des hypothèses et des explications »[1116], terrain que nous avons vu être souvent évité par les astronomes français. Il évoque ainsi la possible libération d'énergies radioactives, avançant que « l'homme assiste peut être là à de véritables créations d'atomes matériels, comme il doit s'en faire encore dans l'Univers – du moins il n'est pas interdit de l'imaginer »[1117], théorie radioactive qui, selon lui, permettrait d'expliquer les énormes vitesses observées des gaz émis par les novae, intégrant au passage ses recherches menées avec Pérot sur les centres lumineux des gaz incandescents étudiés dans l'arc au mercure. Il cite aussi les théories basées sur l'idée de choc entre corps célestes : théorie d'Arrhenius expliquant les novae par le choc de deux « étoiles obscures », et théorie de Seeliger reprise par Kapteyn, considérant les novae comme le choc d'une étoile faible et d'une nébuleuse obscure.

L'année suivante, en 1919, Bosler est chargé par l'astronome Pierre Puiseux, malade, de reprendre son cours annexe de physique céleste professé à la Sorbonne : Bosler réunit alors de 1919 à 1922 de nombreux auditeurs. En 1923, il tire de ses cours *L'Evolution des Etoiles* où il donne une description très actualisée des dernières connaissances sur le sujet, en rupture nette avec la position française de « docte ignorance » (pour reprendre l'expression de Jacques Merleau-Ponty) jusque là adoptée. En effet, après un panorama des divers systèmes de classification spectrale depuis Secchi jusqu'à celle du Harvard College en passant par celle de Lockyer, et un résumé des diverses méthodes de mesure des températures stellaires, il détaille les travaux récents de l'astronome indien Megh Nad Saha sur l'ionisation des atomes et leurs applications astronomiques. Puis, il précise l'importance des récentes recherches sur les étoiles naines et géantes, découvertes par Hertzsprung en 1905, qui vont amener Henri Norris Russell vers la construction, en 1913, du diagramme qui deviendra la pierre angulaire de l'astrophysique : ce diagramme, que l'on appelle aujourd'hui diagramme HR (Hertzsprung Russel) représente la magnitude absolue des étoiles en fonction de leur spectrale. Il a permis à Russell de fonder une conception de l'évolution stellaire qui confirme en partie les idées de

[1116] *Ibid.*, p.635.
[1117] *Ibid.*

Lockyer : les étoiles géantes sont des étoiles qui s'échauffent, puis se refroidissent lorsqu'elles atteignent le stade d'étoiles naines.

<u>Fig. 3.4.6</u> : Diagramme de M. H.N. Russell
<u>Source :</u> BOSLER, Jean, *L'Evolution des Etoiles,* Libraire scientifique Albert Blanchard, Paris, 1923, p.53.

Dans le chapitre IV de son ouvrage, Bosler décrit de quelle façon les idées de Russell vont influencer en 1916-1917 Arthur S. Eddington au sujet du problème théorique de l'état intérieur des étoiles. En effet, suite aux travaux de Karl Schwarzschild notamment[1118], Eddington va être amené à considérer une étoile comme siège d'un équilibre radiatif au détriment d'un modèle convectif. Finalement, dès avant la première guerre mondiale, puis immédiatement après lors de ses cours à la Sorbonne, Bosler est un observateur attentif des travaux étrangers sur des problématiques fort peu cultivées en France. Il note d'ailleurs dans l'avant-propos de son livre de 1923, comment le problème s'est vu traité à la fois en dehors des laboratoires et des observatoires, pour constituer un sujet proprement théorique utilisant des méthodes statistiques qui, seules, peuvent donner sens à des données de masse : « Si d'ailleurs, parmi les récentes découvertes, certaines ont été accomplies dans des laboratoires, si d'autres ont un caractère analytique nettement défini, plusieurs par contre, qui ne le cèdent en rien aux premières comme intérêt et surtout comme valeur *objective*, ne sont à proprement parler ni mathématiques ni expérimentales : leur mérite a principalement consisté dans l'art de réunir des matériaux *statistiques* et de les interpréter judicieusement, non sans une certaine hardiesse de vues générales»[1119]. Bien évidemment, cette « hardiesse de vues générales », à savoir la déduction de faits à partir de théories comme la théorie atomique de Bohr, la théorie de l'ionisation de Saha ou les théories thermodynamiques, ne correspond pas à la démarche des physiciens expérimentalistes français, Fabry en tête, qui, comme Pestre l'a montré, montrent une large « défiance à l'égard du théorique »[1120], vu comme incombant aux mathématiciens et non aux physiciens. De même, Pestre note le peu d'intérêt que les physiciens expérimentalistes comme Fabry ont porté pour une approche statistique et

[1118] En 1906, Karl Schwarschild utilise les récentes avancées en thermodynamique pour développer un modèle radiatif des atmosphères stellaires. Sur le diagramme HR, et l'historique des idées sur l'évolution des étoiles, voir : DEVORKIN, David, «Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.90-108.
[1119] BOSLER, Jean, *L'Evolution des Etoiles*, Paris, Libraire scientifique Albert Blanchard, 1923, p.6.
[1120] PESTRE, Dominique, *op.cit.*, p.53.

discontinuiste des phénomènes, les amenant à négliger, voire occulter, certaines approches modernes de la thermodynamique.

Il peut paraître d'ailleurs intéressant de faire un rapprochement entre le diagramme HR et les diagrammes d'équilibre fer-carbone qui ont participé à la structuration de la métallurgie physique exactement au même moment. En effet, Nicole Chézeau a récemment mis en évidence le fait que ces diagrammes d'équilibre ont été le résultat de la rencontre entre la chimie physique et la métallurgie, c'est-à-dire entre la théorie et l'expérimentation[1121]. Chézeau évoque ainsi une « véritable rupture épistémologique », montrant la nécessaire convergence entre l'expérimentation et la théorie dans la construction de la connaissance scientifique, et, ici, dans l'émergence d'une discipline nouvelle. Par comparaison, le diagramme HR, que Charles Fehrenbach qualifie d' « une des plus grandes acquisitions astrophysiques » du XX^{ème} siècle[1122], est lui aussi, nous l'avons vu, le résultat d'une convergence entre observations en masse, traitement statistique et interprétation par des théories physiques récentes. En ce sens, l'astrophysique française des années 1910 est une discipline essentiellement dominée par des expérimentalistes peu enclins à introduire le théorique dans leur pratique. Bosler se fait, il nous semble, l'écho d'une autre science pratiquée à l'étranger lorsqu'il écrit que l' « On pourrait être tenté de voir dans [l'Astrophysique] une branche nouvelle de l'étude du Ciel, une simple application de la Physique à l'Astronomie : elle n'est pas que cela »[1123]. Jacques Merleau-Ponty fera une analyse semblable lorsqu'il écrira que « l'Astrophysique n'est pas seulement l'application aux astres de la Physique connue ; c'est vraiment une autre Physique où les lois fondamentales s'appliquent dans des conditions profondément différentes de celles qui ont cours au laboratoire »[1124]. Ainsi, Bosler nous montre que les polytechniciens qui ont investi l'AP au début du XX^{ème} siècle, comme Pérot ou Fabry, n'ont pas considéré le caractère éventuellement spécifique de la discipline, qui serait autre qu'une simple application de la physique à l'astronomie, mais l'ont vue comme un moyen de développer leurs propres objectifs spectroscopiques et métrologiques, sans se diriger vers une étude réelle des phénomènes observés qui aurait alors abouti à des données de masse, et sans faire intervenir

---

[1121] CHEZEAU, Nicole, *De la forge au laboratoire. Naissance de la métallurgie physique (1860-1914)*, Presses Universitaires de Rennes, 2004.

[1122] FEHRENBACH, Charles, « Spectroscopie », *La Science contemporaine. 2/ Le XX^{ème} siècle. Années 1900-1960*, TATON, René (dir.), Quadrige, PUF, 1995, p.538.

[1123] BOSLER, Jean, *L'Evolution des Etoiles*, Libraire scientifique Albert Blanchard, Paris, 1923, p.5.

[1124] MERLEAU-PONTY, Jacques, Cosmologie du XX^{e} siècle. Etude épistémologique des théories de la cosmologie contemporaine, Gallimard, Paris, 1965, p.24.

de prérequis théoriques, pratique déductive incompatible avec leur démarche inductive considérant uniquement les faits observés.

Finalement, si Fabry quitte Marseille en 1920 pour enseigner à la Sorbonne, à l'Ecole Polytechnique et diriger l'Institut d'Optique, Bosler réalise le chemin inverse : il est nommé directeur de l'observatoire de Marseille en 1923, après avoir été nommé astronome adjoint à l'OP en 1920 et chargé du service des mouvements propres de 1921 à 1923. Dans la tempête qui secoue l'astronomie française au lendemain de la première guerre mondiale, et malgré la menace de disparition qui pèse sur l'observatoire de Marseille, Bosler reçoit pour « mission d'orienter vers les recherches modernes d'Astronomie Physique cet Etablissement exclusivement consacré autrefois à des travaux de calcul ou d'Astronomie de position. […] »[1125]. De même, il sera chargé du cours d'astronomie approfondie à la Faculté des Sciences de Marseille en 1923, puis deviendra Professeur d'astronomie approfondie en 1926, et dirigera le *Journal des Observateurs* à la mort de son fondateur Henri Bourget. A Marseille, Bosler trouve cependant en 1923 un observatoire, et c'est à nouveau le caractère américain qu'il regrette pour améliorer la situation et l'inertie du système administratif français qu'il fustige quand il écrit au directeur de l'observatoire d'Abbadia à Hendaye en 1926 :

> L'Observatoire de Marseille est très pauvre en matériel astrophysique : la cherté des prix actuels lui interdit d'en acheter sur son maigre budget normal. Mais nous avons pensé que nous pourrions peut être, par une convention équitable avec un autre établissement (convention dont les termes seraient bien entendu à étudier) nous procurer indirectement le matériel ou les ressources qui nous manquent en mettant d'autres astronomes, particulièrement qualifiés, à même de tirer parti d'un instrument précieux.
>
> L'Observatoire de Marseille serait en Amérique que la chose serait facile : nous vendrions notre méridienne et avec le produit nous achèterions les appareils de spectroscopie que nous voudrions. Les Etablissements de l'Etat Français ne peuvent, vous le savez, procéder ainsi […] »[1126]

Bosler, une fois à Marseille, continuera d'être un observateur de la science étrangère, notamment lors d'un voyage d'étude des observatoires d'Asie missionné par le Bureau des Longitudes[1127]. Et en 1928, Bosler publie un *Cours d'Astrophysique*, « qui fut pendant de

---

[1125] *Notice sur les travaux scientifiques de M. Jean Bosler*, Imprimerie Nouvelle, Marseille, p.16.

[1126] « Lettre de Jean Bosler au directeur de l'observatoire d'Abbadia, le 16 mai 1926 », *Archives de l'observatoire d'Abbadia*.

[1127] BOSLER, Jean, « Un Tour d'Asie, de Marseille à Moscou, par Saïgon, Pékin et Tokio », *Bulletin de la Société de Géographie et d'Etudes Coloniales de Marseille*, 1930, t.51, p.36-56.

nombreuses années le seul traité en français d'Astronomie physique »[1128], jusqu'à l' *Astrophysique générale* de Jean-Claude Pecker et Evry Schatzman en 1959. Ouvrage à destination universitaire, le traité de Bosler est surtout un témoin de l'AP d'avant-guerre. Bosler y traite tout d'abord des méthodes et des instruments, avant de consacrer une partie au Soleil puis au système solaire : « l'étude en est peut-être un peu négligée aujourd'hui – à tort, croyons-nous »[1129]. Puis il termine, allant du particulier au général, par les étoiles et les nébuleuses, une partie reprise essentiellement de son livre de 1923 sur l'évolution des étoiles. Ce qui fait dire à l'astronome A. Pogo dans l' *Astrophysical Journal* que l' « on peut regretter, cependant, que ce meilleur travail français d'astrophysique date de quatre ans au moment de sa publication »[1130]. Bosler, s'il a largement relevé certains problèmes structurels de l'astronomie physique, mais aussi de la science, française, fait aussi partie intégrante de cette tradition, notamment polytechnicienne, qui lui fait écrire en avant-propos de son *Cours d'Astrophysique*, montrant la nécessité de construire la connaissance scientifique sans rupture avec le passé : « nous avons seulement tenu compte ici des grands progrès accomplis depuis, bien qu'il soit à la vérité chimérique d'entreprendre de résumer fidèlement de résumer fidèlement une science aussi jeune que l'Astrophysique et dont le prodigieux essor a été si rapide que ses principes mêmes ne sont pas encore tous à l'abri des critiques ou des retouches ».[1131]

[1128] FEHRENBACH, Charles, «Jean Bosler (1878-1973)», *L'Astronomie*, 1975, p.221.
[1129] BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.I.
[1130] « It is to be regretted, however, that this best French work on astrophysics should be about four years old at the time of its publication». POGO, A., « Reviews. *Astrophysique* . By Jean Bosler », The Astrophysical Journal, 1969, vol.69, p.242.
[1131] BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928, p.I.

Conclusion de la partie 3

Durant la période 1895-1914 se produisent des mouvements particuliers au sein de l'AP française. Tout d'abord, Janssen devient une figure mythique : s'il incarne une science de l'aventure par les voyages, les ascensions des sommets ou les vols en ballon qu'il a su mettre en valeur, alors on peut évoquer l'analyse de Sylvain Venayre dans son ouvrage consacré à une histoire du sentiment d'aventure. En effet, Venayre avance que « la vie d'aventures [jusqu'en 1890] est présentée comme le moyen d'acquérir une somme d'expériences profitables à l'âge adulte, c'est-à-dire à l'âge où doit mourir le désir d'aventure, et triompher le goût utile du travail sérieux »[1132], tandis qu'entre 1890 et 1920, « l'aventurier devient alors une figure positive, incarnation de la quête de l'aventure pour elle-même[…]. »[1133] Dans cette perspective, on peut interpréter facilement les doutes que certains ont manifestés devant la science du voyage en invoquant une pratique manquant de sérieux car non liée uniquement au laboratoire, tandis que, par la suite, Janssen a servi de figure positive, pour des Deslandres ou Nodon. Deslandres surtout réussit à utiliser la figure de Janssen pour arbitrer des différents avec des savants étrangers, et aboutit, de fait, à empêcher la discipline d'être pleinement représentée à l'étranger.

Cette volonté d'ancrer la discipline dans une histoire particulière se voit aussi dans la désir de Deslandres de rattacher ses travaux à ceux de physiciens français (Bénard, Dufour par exemple), dans le but, souvent, de rendre ses recherches originales par rapport à l'étranger, et à Hale principalement. L'ensemble de l'AP française possède de plus un horizon particulier : celui des hypothèses cosmogoniques. En fait, il s'agit plus de donner à la cosmogonie un statut scientifique, positif, en faisant disparaître l'aspect spéculatif qui l'entache. Sur ce point, la cosmogonie de Faye sert de repère et montre aussi comment la figure de Descartes peut devenir à nouveau un paradigme pour cette communauté savante, au travers de nouvelles considérations sur les tourbillons. Le renouveau cartésien participe à structurer et à rassembler certains physiciens et astronomes face à la menace du renversement de la mécanique rationnelle comme explication des phénomènes naturels. Et, par conséquent, les expériences de re-création au laboratoire, la science « mimétique » selon Galison, peuvent apporter une crédibilité aux considérations cosmogoniques. Les travaux de Deslandres sur les rayons

---

[1132] VENAYRE, Sylvain, La Gloire de l'Aventure, Genèse d'une Mystique Moderne 1850-1940, Aubier, Paris, 2002, p.281.
[1133] *Ibid.*

cathodiques ou les tourbillons présupposent une certaine unité des phénomènes terrestres et célestes, et leur projection du laboratoire à l'univers se suffit à elle-même : les recherches sur les étoiles ne sont pas nécessaires si une seule étoile comme le Soleil est bien comprise grâce à la reproduction des apparences (obtenues au spectrohéliographe par exemple). L'AP a trouvé là *son* unité, unité matérielle du monde qui fonde l'astrophysique comme l'a souligné Agnes Mary Clerke en 1903[1134].

Loin de cette pratique, d'autres scientifiques ont porté l'AP française vers d'autres voies. Egalement issus de l'Ecole Polytechnique, Fabry et Pérot portent au centre de leur démarche l'acte métrologique, leur assurant une représentation internationale. La différence est marquante entre Deslandres d'un côté et Fabry et Pérot de l'autre : quand Deslandres ne peut se faire comprendre lorsqu'il intervient lors du Congrès solaire de 1910 au Mont Wilson car ne parlant pas anglais, Fabry et Pérot n'ont pas besoin de traduire leur article dans l'*Astrophysical Journal* sur le nouveau système de longueurs d'onde qu'ils proposent en 1902. Nous reprendrons alors l'image d'une science « éclatée », pour reprendre l'expression de Pestre : Deslandres incarne la discipline en France, mais pas sur le plan international. De même, Fabry et Pérot enseignent à l'Ecole Polytechnique ou à la Sorbonne, tandis que Deslandres n'a créé aucun lien avec l'enseignement supérieur.
A l'OP, l'AP est aussi représentée au sein du Service d'AP dirigé par Hamy. Les recherches stellaires y figurent, mais la portée de ce groupe est restreinte, malgré les efforts de synthèse et de diffusion des techniques de l'AP, voire de vulgarisation précoce de l'histoire de la discipline.

Sur le plan technique, ces différents acteurs manifestent tous une habileté manuelle remarquable : l'exemple de Deslandres nous a montré comment ce dernier improvise des solutions techniques avec peu de matériel. La discipline est donc représentée par des physiciens expérimentateurs, et non théoriciens et mathématiciens – et donc peu enclins à des regroupements et exploitations statistiques de mesures spectrales comme ont pu le faire des Zöllner, Vogel ou Campbell - , cette pratique – fortement basée sur la performance individuelle - se transmettant par la suite : nous avons vu l'image que Lyot, pour la génération suivante, laissera chez ses homologues étrangers : à côté du gigantisme américain, Lyot fabriquait des instruments pouvant être transportés, à dos d'homme, au sommet des

[1134] CLERKE, Agnes M., *Problems in astrophysics*, Adam & Charles Black, Londres, 1903, p.2

montagnes. Cette image seule suffit à caractériser la pratique idiosyncrasique de l'AP française : fortement basée sur la performance expérimentale qu'un individu pouvait réaliser au travers des instruments qu'il mettait au point. Telle est l'image de l'observatoire de Meudon jusqu'en 1914 : un lieu où s'observe une somme de pratiques individuelles, un lieu où cohabitent des savants travaillant les uns à côté des autres, de façon isolée plus qu'en formant une communauté homogène.

Enfin, l'AP connaît un flou quant à la définition même de ses objets d'étude. Ainsi, avec Fabry, la haute atmosphère terrestre suscite plus d'enthousiasme que les étoiles car lieu de transition entre la Terre et le Ciel, et donc lieu digne d'intérêt pour un physicien qui a pour but ultime l'harmonisation des unités des physiciens avec celle des astronomes : l'atmosphère terrestre devient le lieu d'un consensus entre la pratique du laboratoire et celle de l'observatoire, lieu de recherche commun à l'astrophysique et à la géophysique.

Conclusion

Loin de s'exercer sur un modèle unique, l'AP française entre 1860 et 1914 montre une diversité dans ses approches, une pluralité des lieux de sa construction, une multiplicité des acteurs et des cultures qui les animent, au risque d'un éclatement et d'une hétérogénéité des pratiques.

De la réception des idées de Kirchhoff et Bunsen au passage de Vénus, on assiste à une gestation des rapports entre physique, chimie et astronomie. L'ENS joue un rôle important, notamment au travers du laboratoire d'Henri Sainte-Claire Deville dans lequel viennent se documenter et se former de nombreux savants. On y voit travailler des normaliens comme Wolf et Rayet, qui y trouvent des ressources pour appliquer les techniques de l'analyse spectrale aux phénomènes célestes, mais aussi des savants extérieurs comme Faye et Janssen. La nouvelle situation de l'astronomie française qui voit, depuis 1854, régner Le Verrier à la tête de l'OP, ne permettra pas à ces normaliens de développer leurs idées. Par contre, Janssen, par la mobilité institutionnelle qu'il partage avec beaucoup de précurseurs à cette époque, arrive à innover. Ses travaux trouvent rapidement un cadre avec le patronage de Faye : il s'agit alors d'apporter des preuves en faveur du modèle solaire de Faye, modèle qui concurrence celui du physicien allemand Kirchhoff. Par Faye se transmettent de nombreuses idées : sur un plan technique, Faye est un promoteur précoce de l'irruption en astronomie de méthodes qui rompent avec celles de l'astronomie traditionnelle, évolution certainement rendue possible par ses voyages en Angleterre où il observe très tôt l'immixtion de la culture du laboratoire dans celle de l'observatoire. L'analyse spectrale et la photographie sont ainsi deux composantes de cette nouvelle pratique : cette dernière notamment va permettre de donner un rôle différent à l'observateur, à la fois en le dégageant de taches inutiles, et surtout en apportant une objectivité sans faille à l'acte d'observer. Ensuite, c'est une science *humboldtienne* dont Janssen va hériter, entre autres, de Faye. Cette conception implique le nomadisme scientifique, la constitution d'annales scientifiques de la Nature, l'interdisciplinarité comme corollaire de l'unité des phénomènes (terrestres et célestes). Il va en résulter, chez Janssen, une affection pour l'image, image qui permet de faire surgir la structure interne des objets comme le Soleil – objet céleste privilégié- mais aussi d'enregistrer les phénomènes naturels pour constituer, au sens humboldtien, les annales de l'histoire. Janssen initie durant cette période une astronomie physique qui présuppose

l'interdisciplinarité, la convergence des savoirs dispersés dans des disciplines au contour flou. Janssen, qui n'est reconnu véritablement ni comme physicien, astronome ou chimiste, promeut ainsi une science au carrefour des savoirs, tant dans sa pratique scientifique que dans la sociabilité, large et diverse, qu'il manifeste : nomadisme scientifique, importance de l'image tant dans les buts fixés que dans les moyens qu'il se donne (notamment de persuasion auprès des personnalités politiques) , interdisciplinarité mais aussi marginalité et parfois isolement caractérisent l'astronomie physique de Janssen.

La seconde période s'ouvre, en 1874, avec un événement qui va permettre à un nouveau groupe de s'immiscer dans les problématiques de l'astronomie physique. Hippolyte Fizeau et Alfred Cornu réussissent à imposer, lors des préparatifs au passage de Vénus, leur vision de l'astronomie physique : un matériel non spécialisé mais pouvant servir à la fois à l'astronomie de position et à l'astronomie physique, des recherches de laboratoire au détriment de missions scientifiques lointaines, l'importance de la métrologie et d'appareils de mesure sans cesse à perfectionner, un héritage fresnélien d'une science de l'optique et de la mécanique rationnelle qu'il faut maintenir comme paradigme. Dans le même temps Janssen voit ses efforts se concrétiser : l'Etat décide et finance la construction d'un observatoire d'astronomie physique, notamment dans le sillage d'une science française qu'il faut relever après la défaite de 1870. Janssen en devient le directeur, et l'équipe progressivement d'un matériel spécialisé. Mais ses absences et ses fréquents voyages empêchent l'observatoire de Meudon de devenir un centre attracteur. Janssen, comme son observatoire, est isolé, c'est-à-dire qu'il ne créé pas les liens avec l'enseignement supérieur qui lui auraient permis d'assurer la diffusion profonde et la pérennité des idées et des méthodes qu'il a mises au point. Les projets qui voient le jour, comme la grande lunette ou le télescope de 1 m, sont la concrétisation de propositions anciennes, et peu d'impulsions nouvelles apparaissent dans un établissement où seuls deux astronomes vont travailler pendant quelque vingt ans. Certes, des raisons financières peuvent être avancées, mais nous pensons qu'il s'agit plus d'une façon particulière pour Janssen d'envisager sa pratique scientifique : sa notoriété est fondée sur des exploits individuels, sa façon d'innover est toujours à l'image de celle de Foucault, à savoir l'intimité de son cabinet personnel plus qu'un laboratoire ou un observatoire où il serait entouré d'élèves.

Cornu et ses élèves, par contre, vont investir de plus en plus le champ de l'astronomie physique durant cette période que nous qualifierons de *transitoire*. En effet, à ce moment, Henri Deslandres devient la figure principale de l'astronomie physique. Il passe alors de la

pratique métrologique qu'il acquiert auprès de Cornu vers le projet d'imagerie solaire initié par Janssen. Tout comme ce dernier, et au contraire d'une pratique uniquement centrée sur le laboratoire, Deslandres situe lui aussi l'origine de ses idées dans le voyage scientifique qu'il effectue au Sénégal pour l'observation de l'éclipse de 1893.

Le transfert de Deslandres, de Paris à Meudon, est encore plus significatif de cette idée de période *transitoire*. Car même si les motivations exactes du directeur de l'OP ne semblent pas claires, le fait est symbolique : au terme de cette période, c'est la filière incarnée par Cornu qui s'impose, au risque d'un compromis ou d'un travestissement des buts qu'elle se fixe. En effet, si Deslandres était à l'origine engagé dans la réalisation d'un programme de spectroscopie stellaire novateur et en phase avec les préoccupations des autres nations scientifiques, c'est vers l'étude du Soleil qu'il se tourne. Sa pratique, au croisement de la métrologie et de l'imagerie, marque sa spécificité : au lieu de déterminer la vitesse radiale des étoiles, c'est à celle des vapeurs de l'atmosphère solaire qu'il se consacre, conjointement à un programme d'imagerie de la chromosphère.

Il paraît alors révélateur que la troisième période que nous avons identifiée s'ouvre, en particulier, avec les débuts de l'utilisation de la grande lunette de Meudon par Deslandres dès 1898, Janssen utilisant peu (voire pas du tout) le bel instrument dont il a doté la France. Janssen, possédant des compétences évidentes pour trouver des financements, est plutôt occupé par le nouvel observatoire qu'il fait construire sur le sommet du Mont Blanc. Peut-on invoquer une dispersion des ressources financières ? Peu importe : Deslandres, l'ancien officier, prend possession de Meudon, et y fait pénétrer ses problématiques. S'il a pu entrer en conflit avec Janssen, Deslandres saura également utilisé l'image fondatrice de Janssen pour légitimer sa propre pratique : Janssen est devenu, par ce biais, la figure mythifiée et légendaire d'une communauté en émergence.

Une nouvelle articulation entre observation et expérimentation s'observe alors : Deslandres, comme il a pu le faire lorsqu'il a associé métrologie et imagerie, réunit ses propres travaux de laboratoire et ceux d'autres savants français sur les rayons cathodiques et les tourbillons, pour élaborer une science « mimétique », selon l'expression de Galison, permettant le passage, par analogies, du laboratoire à l'univers. Ceci dans un contexte où les perspectives cosmogoniques construisent la discipline : l'astronomie physique de Deslandres est hybride, dans le sens où ce dernier intègre les préoccupations et les résultats de laboratoire de physiciens français intéressés par les rayons cathodiques, les tourbillons, pour expliciter, dans un perspective cosmogonique, les images qu'il acquiert. L'arrière plan de la discipline

contient donc des considérations cosmogoniques longtemps vues comme spéculatives et non positives.

En même temps, les physiciens français, Cornu en tête, tentent de maintenir leur vision de la science, caractérisée par la primauté de la mécanique rationnelle, d'une pratique ayant pour axiome, selon Cornu, que « la Science, ce n'est pas ce qui est nouveau ; la Science, c'est ce qui est clair ». Cornu, nous l'avons vu, devient, pour les savants étrangers, une figure visible de l'astronomie physique. Ses élèves, excepté Deslandres qui peine à trouver une légitimité par ses nombreuses polémiques avec Hale, vont faire vivre son héritage : Fabry et Pérot deviennent des figures majeures de l'astronomie physique française, de par leur investissement métrologique. Cette pratique est connue pour avoir un rôle structurant fort sur des communautés en émergence. Alors que Pérot va devenir physicien à l'observatoire de Meudon, Fabry est le savant le plus représenté dans l' *Astrophysical Journal* et le plus investi dans l'enseignement supérieur, mais n'a en fait aucune visibilité institutionnelle dans le champ de l'astronomie physique en France.

Il apparaît alors une image « *éclatée* », où le manque de lien entre le lieu unique de l'astronomie physique française (ou du moins uniquement visible, car à l'OP travaille également un autre groupe) et l'université ou un autre lieu d'enseignement supérieur est notable, où une pratique individuelle a empêché un travail concerté, et où un groupe constitué de savants souvent de la même formation polytechnicienne a manifesté une approche uniquement expérimentale pour laquelle le perfectionnement des appareils importe autant voire plus que l'objet étudié. Cette approche a donc peu favorisé la théorisation et l'exploitation des nombreuses mesures accumulées (mesures spectroscopiques, interférométriques, mesures de vitesse des gaz solaires, …). Au terme de cette période, aucune publication consacrée uniquement à l'astronomie physique – hormis les *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon* - n'est créée en France, soulignant l'éclatement des recherches sur le sujet.

Ainsi, on peut dire que, de 1860 à 1914, l'astronomie physique française s'est vue progressivement investie par une physique particulière : celle de physiciens opticiens, pour qui l'instrumentation et la métrologie ont joué un rôle primordial. Ce ne sont donc pas des astronomes qui ont construit la discipline, mais bien un groupe de physiciens bien identifié qui lui a donné ses spécificités.

Ces physiciens, héritiers d'une tradition venant de Fresnel mais surtout renouvelée par Fizeau, ont formé un groupe à la fois homogène et hétérogène. Homogène de par sa formation, sa

pratique instrumentale, et non théorique. Hétérogène, car on doit constater l'importance des pratiques individuelles et des choix opérés par chacun. C'est dans cette dichotomie qu'il faut voir l'attention que nous avons portée aux institutions et au système éducatif, mais aussi aux individus qui, de Faye à Fabry en passant par Janssen, Deslandres, Nordmann ou Hamy, montrent le caractère fortement idiosyncrasique évoqué par Charlotte Bigg. Ceci se voit déjà lorsque Janssen est quasiment seul à Meudon, mais aussi lorsque Deslandres dirige l'observatoire : si ce dernier est le maître du lieu, il ne l'est pas suffisamment si l'on regarde la dispersion des sujets traités à ce moment par les savants meudonnais. Dispersion également de par l'absence d'exploitation systématique du matériau accumulé : les enregistrements spectrohéliographiques de Deslandres ont abouti à une masse de données n'ayant pu être systématiquement utilisée, soi-disant faute de moyens, c'est-à-dire de bureau de calculs. Il apparaît ainsi que l'Astronomie Physique en France a été pratiquée par des savants indépendants et isolés, soulignant une singularité du cas français : l'apparition du chercheur, impliquant l'idée d'un travail de groupe, d'une concertation dans les projets, ne se fera qu'avec la création de la CNRS dans les années 1930, dans la foulée de changements politiques ultérieurs.

D'un point de vue scientifique, il apparaît plus clair de comprendre une autre spécificité du cas français, à savoir le peu de recherches stellaires. La possibilité d'une re-création des phénomènes cosmiques au laboratoire, dans le cadre particulier des sujets privilégiés par les physiciens français, a favorisé les expériences de laboratoire dont les résultats étaient inférés au Soleil, lui aussi directement étudié, puis aux étoiles. Les recherches stellaires ont donc dépendu d'un Soleil vu comme paradigmatique, Soleil lui-même expliqué par des expériences de laboratoire. Ceci nuance l'idée d'une astronomie physique marquée par un positivisme comtien, Cornu ayant défendu par exemple face à Janssen la possibilité d'une connaissance des phénomènes solaires via des expériences de laboratoire. Mais les idées et la pratique de Cornu ont aussi marqué la discipline au regard de la notion de spécialisation : pour Cornu, se spécialiser a pour conséquence de rétrécir son horizon, ce qui implique au niveau instrumental de spécialiser le moins possible un matériel qui doit pouvoir s'appliquer à de nombreux usages. Pourquoi dès lors financer des lunettes ou des télescopes de grandes dimensions, mais dont l'usage serait restreint ? Enfin, la culture drainée par Cornu a considéré avec peu d'intérêt le catalogage des objets étudiés, l'exploitation de masse de données accumulées – comme nous l'avons vu plus haut – et donc la mise en forme statistique ou graphique que cela impose. Ailleurs, ce traitement statistique a été, comme l'a montré Bosler très tôt, à l'origine du diagramme appelé aujourd'hui H-R. A l'opposé de cette attitude manifestée à l'étranger,

on trouve en France un fort intérêt pour une instrumentation maîtrisée et l'élaboration de procédures dans l'acte métrologique, et un refus d'appareils de mesure construits comme des boîtes noires à la façon de Henri Rowland aux Etats-Unis. L'ensemble de ces considérations nuance l'argument souvent avancé de l'effet néfaste joué par la Carte du Ciel, indiqué en introduction. A la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle, les astronomes physiciens français sont, en effet, des physiciens dont les buts et les moyens ont peu à voir avec les astronomes qui vont développer ce programme scientifique effectivement consommateur de temps et d'argent. Leur pratique relève de la virtuosité technique (voir la description des travaux de Henri Deslandres par Audoin Dollfus), leur horizon n'est pas l'obtention en masse de chiffres ou de spectres, leur culture n'est pas celle de la lunette méridienne mais celle de l'appareil bien compris et bien construit.

Cornu, en décrivant l' « œuvre astrophysique de Fizeau », indique au même moment le chemin méthodologique à suivre : photométrie, photographie, interférométrie, mesure des vitesses radiales, mesure de la vitesse de la lumière, primat du laboratoire sur l'observatoire. En ce sens, nous qualifierons l'Astronomie Physique française, à la veille de la première guerre mondiale, d'*astronomie physique fizaldienne*.

En conclusion, on peut dire qu'à la veille de la grand guerre, il n'existe pas de communauté réellement constituée autour d'un programme cohérent et concerté d'Astronomie Physique. De nombreuses recherches ont été menées, mais sur un mode dispersé.

La dispersion a été géographique tout d'abord, car il a existé de nombreux lieux où l'astronomie physique a été pratiquée, mais sans concertation entre les différents acteurs : l'observatoire de Meudon (autour de Deslandres), l'Observatoire de Paris (autour de Hamy), mais aussi la Faculté des Sciences de Marseille (Fabry et Pérot), et des lieux où des ressources matérielles ou humaines ont été sollicitées (Ecole Polytechnique, Sorbonne, Collège de France, Ecole Normale Supérieure, Société Astronomique de France).

Dispersion également des rôles de chacun des savants : si Deslandres est directeur de l'observatoire de Meudon, c'est Fabry et Pérot qui étaient titulaires de chaires d'enseignement à l'Ecole Polytechnique ou à la Sorbonne par exemple. Si le groupe 'parisien' autour d'Hamy n'a pas non plus formé d'élèves ni fait école, il a, au contraire de Deslandres, montré une volonté de diffusion ou de vulgarisation des recherches récentes dans le domaine.

On observe également une multiplicité des thèmes étudiés et des approches: stellaire à l'Observatoire de Paris via l'interférométrie, la spectroscopie et la photométrie, solaire à l'observatoire de Meudon où un programme d'imagerie a été poursuivi, en lien avec des

recherches de laboratoire sur le mode d'une re-création sur Terre des phénomènes célestes, et enfin atmosphérique chez Fabry, par interférométrie, photométrie ou spectroscopie.
Ce dernier point est important car si l'on observe un éclatement des pratiques et des lieux où l'astronomie physique a été cultivée, on constate aussi un flou dans la définition même de l'objet que l'astronomie physique française s'est donnée à étudier. En effet, le groupe bien identifié de physiciens qui a investi la discipline a transposé ses propres problématiques au domaine de l'astronomie physique. L'atmosphère terrestre, déjà source d'analogies chez des cosmogonistes comme Faye (pour qui l'héritage humboldtien et son souci d'une appréhension globale des phénomènes légitimait ce genre d'inférences), et chez des ingénieurs comme Deslandres ou Belot (pour qui la mécanique des atmosphères terrestre, planétaire, solaire et stellaire était révélée par des expériences de laboratoire sur les phénomènes de convection ou les rayons cathodiques), s'est trouvée posée chez Fabry comme un lieu frontière entre la Terre et le Ciel. Ainsi, Fabry, suivant en cela Cornu, a investi l'atmosphère terrestre car cet objet d'études lui a permis d'asseoir ses recherches métrologiques et de diffuser ses méthodes et ses appareils auprès des physiciens, astronomes, géologues, etc. Cultivée par des expérimentateurs plus intéressés par le perfectionnement de leurs appareils que par l'objet mesuré ou photographié, l'astronomie physique française n'a pas eu la possibilité de rendre autonome son activité par rapport aux autres disciplines scientifiques de l'époque.

Quelles perspectives donner à notre travail ? Sur la période que nous avons étudiée, il sera plus qu'important de porter un regard sur le rôle des amateurs, et notamment sur la place de l'astronomie physique au sein de la Société Astronomique de France. Faye, Janssen, Cornu ou encore Deslandres en ont été président, et ont su y trouver des ressources pour mener à bien leurs travaux. De même, des savants comme Lyot y feront leurs premières armes : le lien entre amateurs et professionnels dans la construction de l'AP en France devra être abordé.
Nous pensons qu'il faudra développer davantage certaines monographies que nous estimons ne pas avoir problématisées suffisamment, ceci dans l'idée de poursuivre la prosopographie de l'astronomie physique française que nous avons initiée. Nous pensons par exemple à Maurice Hamy, dont nous remercions le petit-fils, M. Michel Hamy, pour nous avoir montré les archives de son grand-père qui restent à exploiter : correspondances, photographies, … Hormis Hamy, l'ensemble du groupe parisien (Pierre Salet, Charles Nordmann et Gaston

Millochau) mérite une attention particulière : leur pratique et la culture qui les sous-tend restent à définir convenablement, notamment leur grande perméabilité aux idées nouvelles telle que la relativité générale.

Dans ce travail biographique, l'astronome physicien amateur Aymar de la Baume Pluvinel mériterait une analyse détaillée, notamment par ses liens avec Janssen, Chrétien, la SAF, …

Mais la personnalité qui, à notre avis, méritera une biographie plus problématisée est celle d'Hervé Faye. Figure de transition, savant important au niveau institutionnel, investi en politique, issu d'une tradition industrielle, Faye semble être un personnage devant nous aider à comprendre mieux l'évolution de la science française tout au long du XIX^{ème} siècle. C'est une figure emblématique largement délaissée par les historiens des sciences car le personnage est réduit souvent à son seul modèle solaire, alors qu'il présente l'ambiguïté qu'a été celle de l'astronomie physique française, à savoir un regard global, multidisciplinaire, où la Terre et son atmosphère sont vues comme des modèles facilement transposables à l'Univers dans son entier, et donc où météorologie, géologie, chimie, physique et astronomie sont nécessairement liées, l'ensemble de cette vision ayant pourtant débouché à un savoir spécifique comme l'astrophysique ou la géophysique.

Enfin, au delà de la période que nous avons étudiée, il sera maintenant intéressant de déterminer comment les spécificités de l'astronomie physique française que nous avons fait apparaître évolueront au fil des changements scientifiques et politiques importants qui vont agiter la période de l'entre-deux guerres[1135]. Il semble se dessiner par exemple une rupture majeure avec l'irruption à nouveau de normaliens, que nous avons vu particulièrement absents de 1874 à 1914. Qu'adviendra-t-il ainsi de la pratique physicienne, et en particulier polytechnicienne, avec les Danjon, Mineur ou Chalonge ? Nous avons déjà indiqué un premier axe de recherches dans le chapitre 3.4 et dans la conclusion de la partie 3 : en postulant la place privilégiée de Fabry dans la discipline, il nous semble utile d'entamer une histoire des sciences de l'atmosphère terrestre, histoire lacunaire voire absente aujourd'hui. Cette étude pourrait viser à étudier l'atmosphère terrestre comme un lieu d'études privilégié pour les astronomes physiciens, car espace commun entre la Terre et le Ciel, car lieu de transition et domaine partagé entre l'astrophysique et la géophysique. Dans cette optique, et toujours de façon à caractériser l'héritage de Fabry, un regard plus ciblé sur l'Institut

[1135] Arnaud Saint-Martin termine une thèse sur la recomposition du champ astronomique français de 1900 à 1940, et il devrait apporter des réponses à cette question.

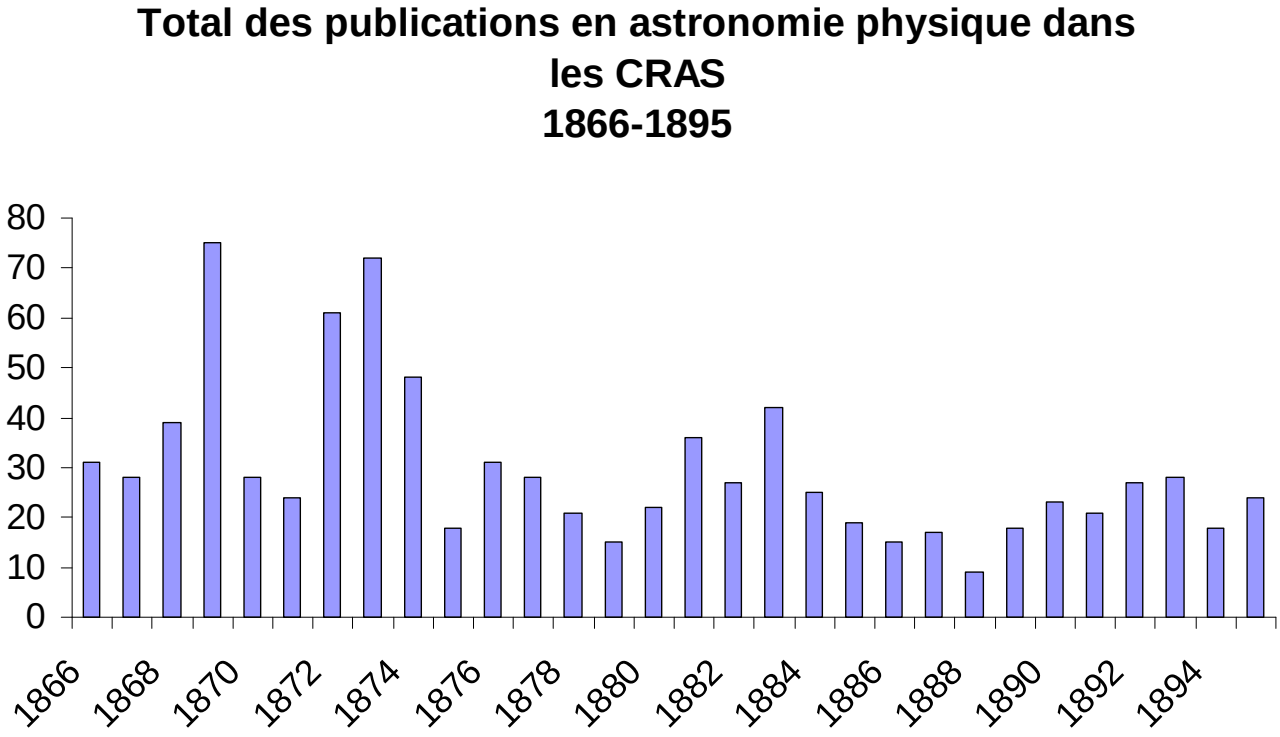
d'Optique pourrait être mené[1136]. Une étude sur les liens entre astrophysique et géophysique a déjà été réalisée pour le cas américain : l'historien des sciences Ronald Doel a particulièrement regardé comment s'est construite une communauté rassemblée autour de recherches sur le système solaire, aux interfaces entre astrophysique, géophysique, chimie, géologie[1137]. Il nous semble que les conclusions de notre thèse, à savoir que l'Astronomie Physique française en 1914 n'est pas constitué en une discipline autonome mais est restée une activité aux interfaces de disciplines comme l'astronomie, la physique, la géologie ou la météorologie, imposent de réaliser une étude des relations entre astrophysiciens et géophysiciens en France après la première guerre mondiale, une étude des sciences de l'atmosphère qui porterait un regard particulier à l'avènement de l'ère spatiale et aux collaborations entre scientifiques et militaires.

Saint-Nazaire, le 12 avril 2007.

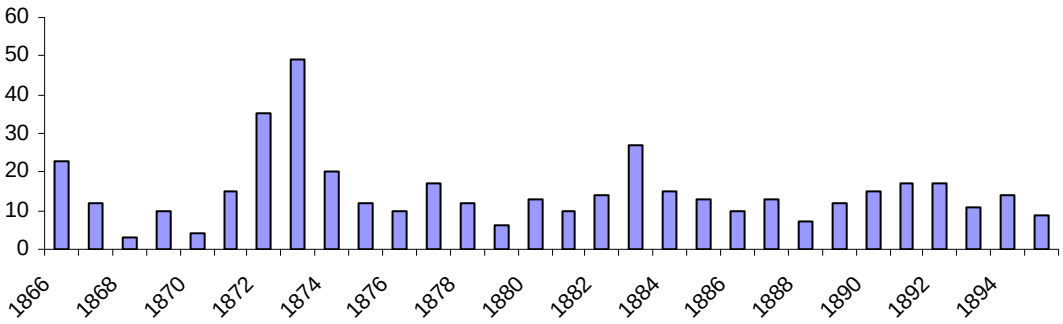
[1136] Cette étude permettra d'ailleurs de préciser la place prise par Henri Chrétien dans l'astrophysique, en lien également avec la communauté amateur et l'observatoire de Nice, personnage sur lequel nous n'avons pas porté notre attention. Françoise Leguet-Tully prépare pour sa part une thèse sur histoire de l'observatoire de Nice.
[1137] DOEL, Ronald, *Solar system astronomy in America : communities, patronage, and interdisciplinary science, 1920-1960*, Cambridge University Press, 1996.

Annexes

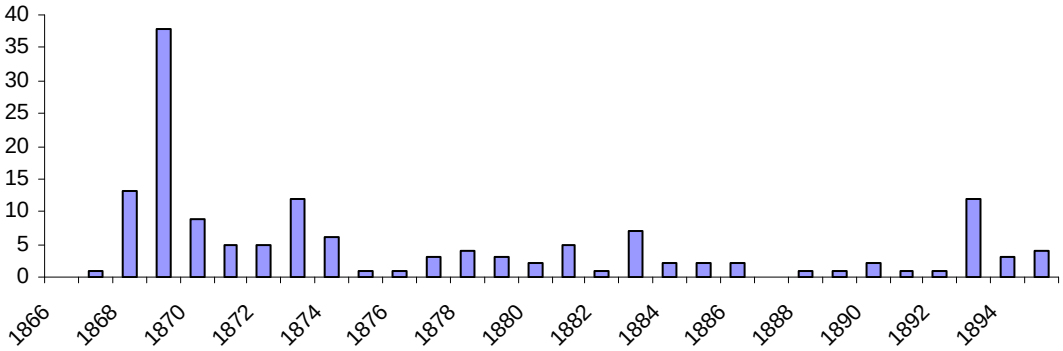
Annexe 1 : Publications dans les *CRAS* à la rubrique « Astronomie Physique », de 1866 à 1895, et par thème



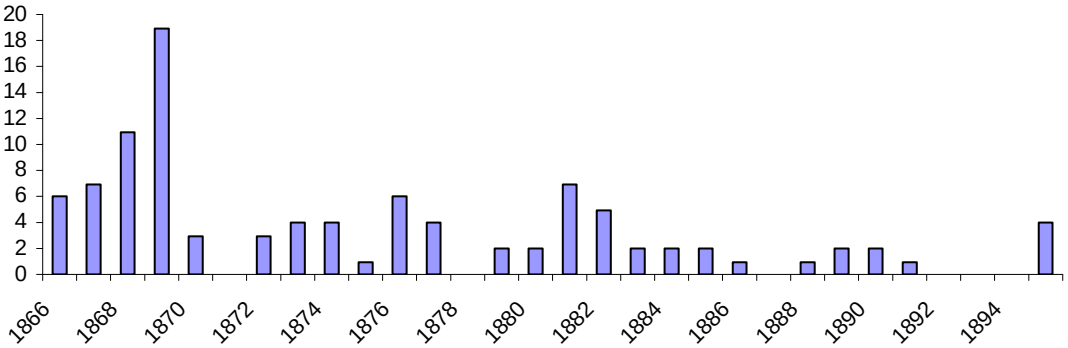
Astronomie physique CRAS 1866-1895
soleil (hormis spectro)



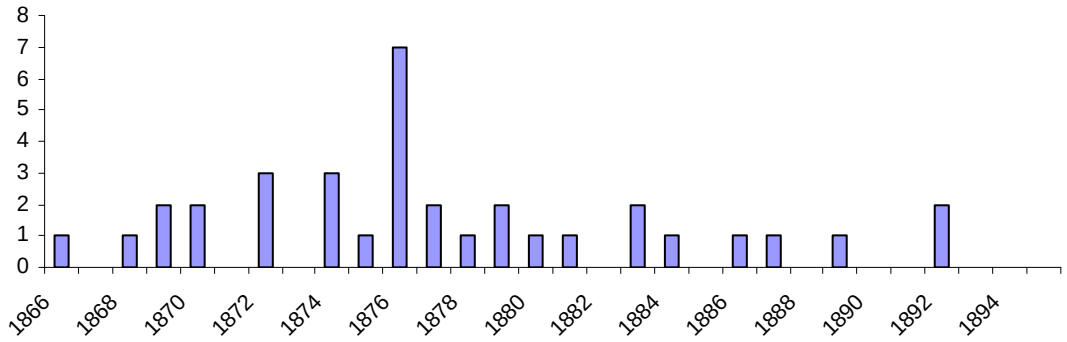
Astronomie physique CRAS 1866-1895
spectro solaire



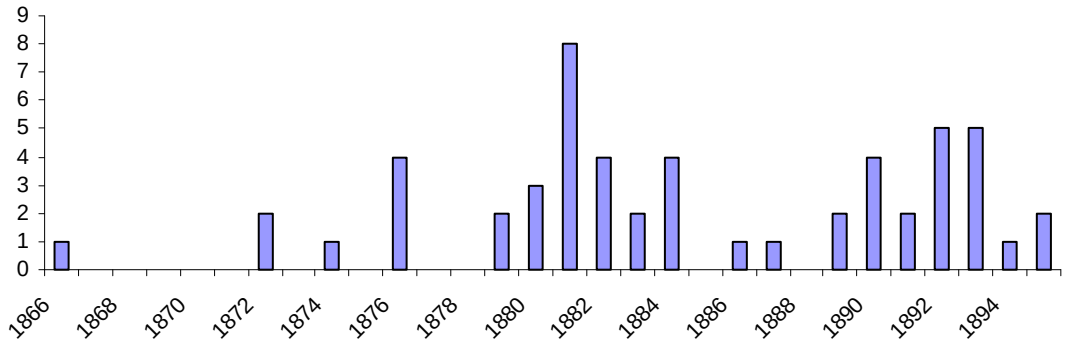
Astronomie physique CRAS 1866-1895
spectro autre



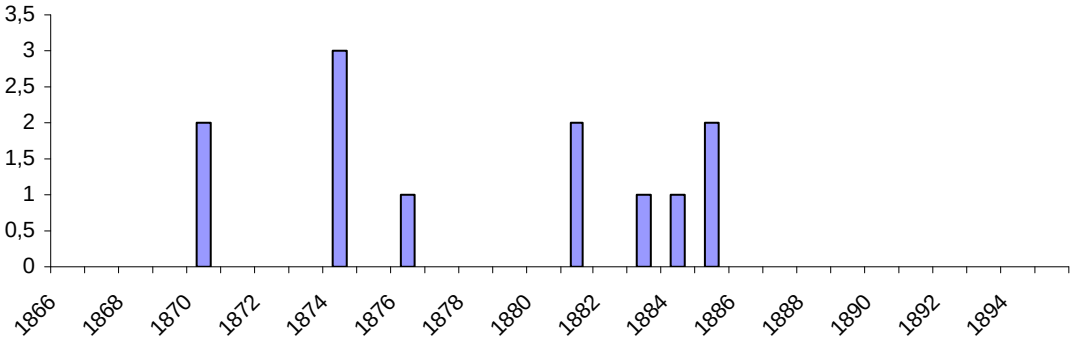
Astronomie physique CRAS 1866-1895
Photographie solaire



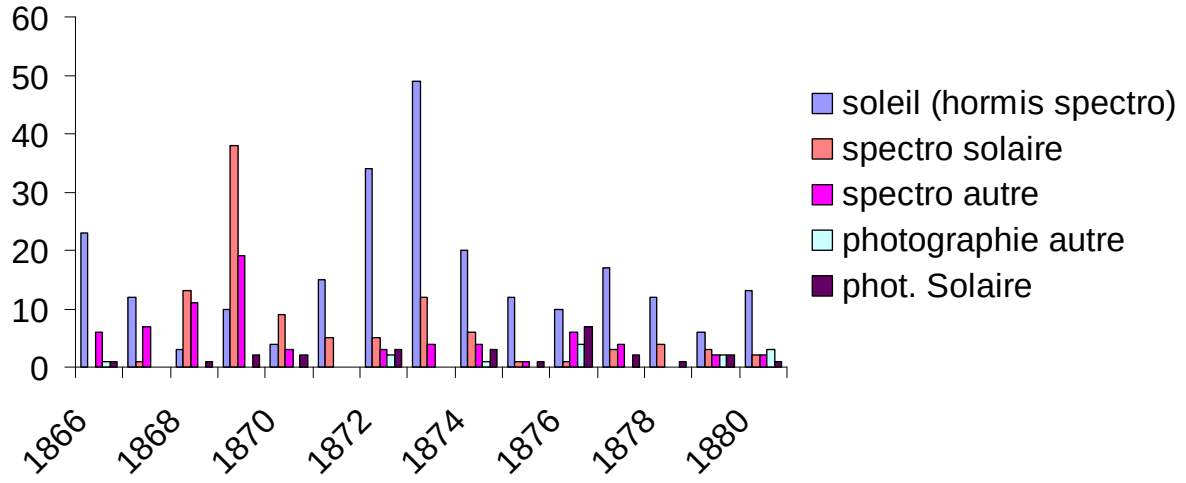
Astronomie physique CRAS 1866-1895
Photographie (autre que solaire)



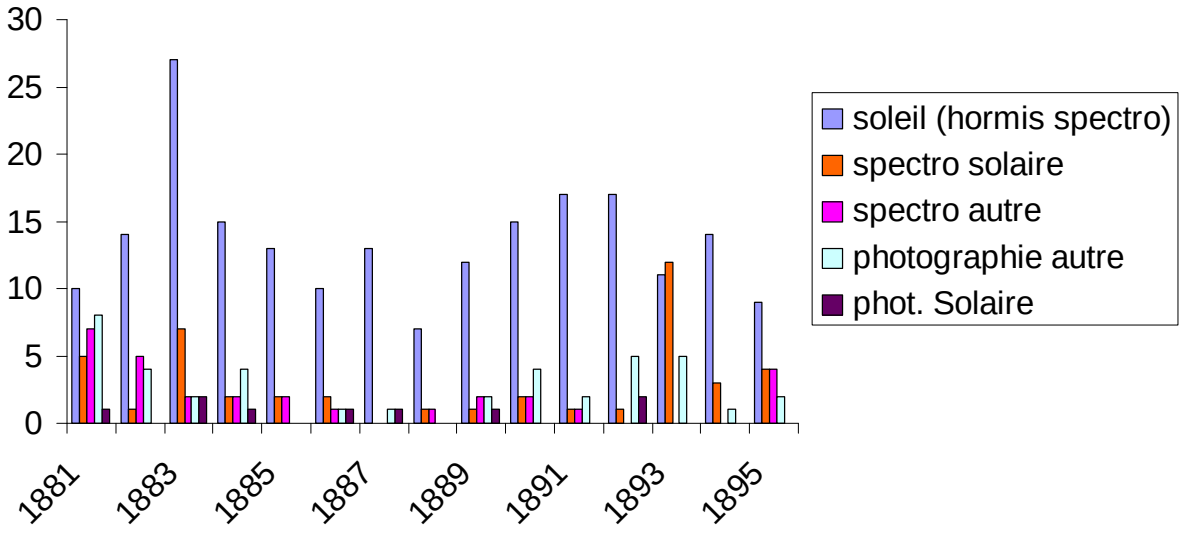
Astronomie physique CRAS 1866-1895
Photométrie



Publications dans les CRAS à la rubrique Astronomie physique; Répartition temporelle 1866-1880



Répartition des publications de la rubrique Astronomie physique des CRAS 1881-1895



Annexe 2 : Conversation de Janssen avec Faye Mardi 22 septembre 1863

Bibliothèque de l'Institut, Ms 4137

« Le soleil n'aurait pas d'atmosphère au delà de la photosphère ; ou du moins rien d'important. Ceci fondé sur l'observation de la comète de 1842 qui a presque rasé la surface (visible) du soleil.(à 9 rayons terrestres). Voir l'Astronomie d'Arago.- S'il y avait eu une atmosphère elle aurait changé la nature de la courbe de la comète ; or elle était parabolique après le passage il eut donc fallu qu'elle fut hyperbolique avant (or on ne connaît pas d'orbite découverte hyperbolique, elles sont paraboliques ou elliptiques il paraît donc impossible que la matière de la comète ait éprouvé une résistance quelconque surtout si l'on songe que la matière de ces astres est [?] et en outre qu'il s'agit ici du centre de gravité et non du bord de l'astre qui int du raser la surface solaire- s'il y avait eu une atmosphère solaire la comète y [?].

Le Soleil serait une masse gazeuse.
densité du soleil environ celle de l'eau
or la densité doit croître de la surface au centre ; les couches extérieures ont donc une densité très faible.

<u>taches solaires</u>- les taches donnent un nouvel appui à cette manière de voir : en effet dans l'espace de quelques heures elles changent considérablement d'aspect
sur une tache noire a il se jette bientôt, par exemple un pont de lumière a' ou la tache se résout en petites taches a''
Tout cela [?] un grand mouvement de la matière de la photosphère qui [?] ne se concilie qu'avec la nature du gaz.

<u>facules</u>- elles [?] les taches sur les bords du soleil jamais au centre du disque
elles sont d'autant plus [?] qu'on s'approche plus près des taches - taches, pénombre, facules

<u>intensité de la lumière solaire sur différents points du disque</u>-

sur les bords la lumière est environ moitié. C'est ce qui a fait admettre généralement une atmosphère solaire. Mais pour expliquer le phénomène M. Faye admet que la lumière solaire vient d'une épaisseur faible de la photosphère, 1000m par exemple, et qu'il est possible qu'il y ait une constitution telle de la photosphère que la propagation de la lumière soit plus faible dans le sens normal à la circonférence solaire que d'une manière oblique on [finit] en disant que le phénomène n'est pas expliqué- Pour les raies on admettrait que la photosphère émet et absorbe en même temps.

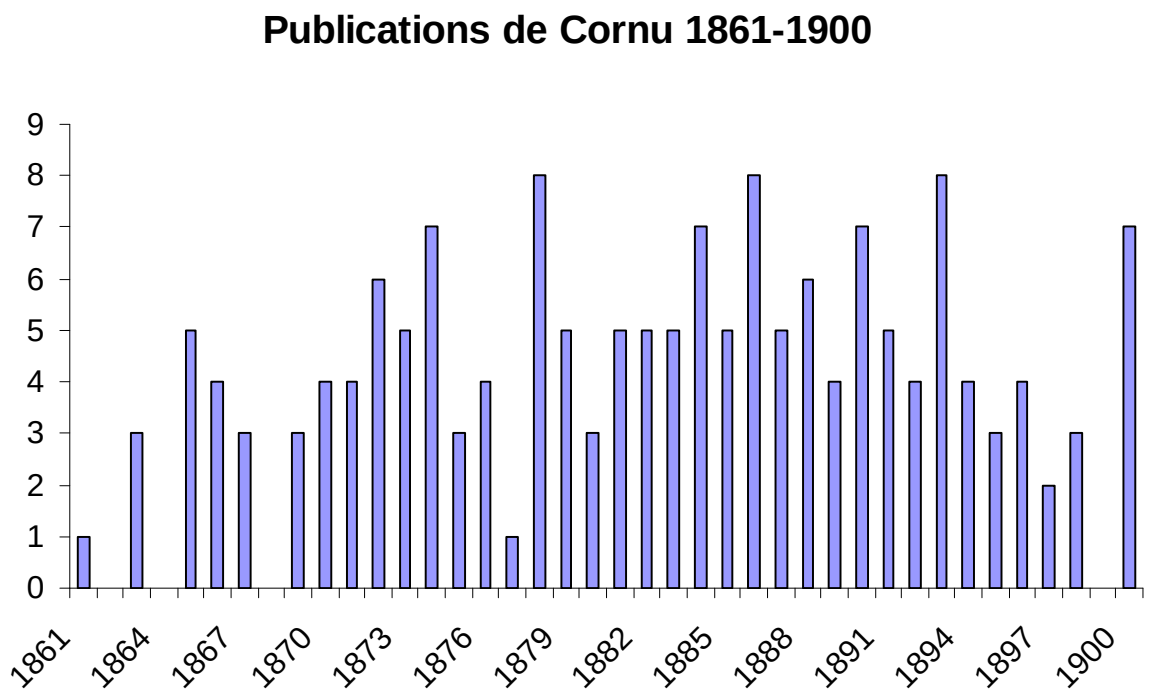
éclipse totale- l'éclipse totale fournira un moyen décisif pour savoir s'il y a ou non une atmosphère. En analysant la lumière donnée par l'auréole par le spectroscope, on [?] trouver un spectre renversé – en [?] des astron. allemands ont analysé la lumière diffuse des nuages puis de l'éclipse qui a eu lieu en Grèce ; ils ont trouvé le spectre ordinaire solaire mais la lumière avait alors deux origines , celle de l'auréole, celle du soleil réfléchi par les nuages.

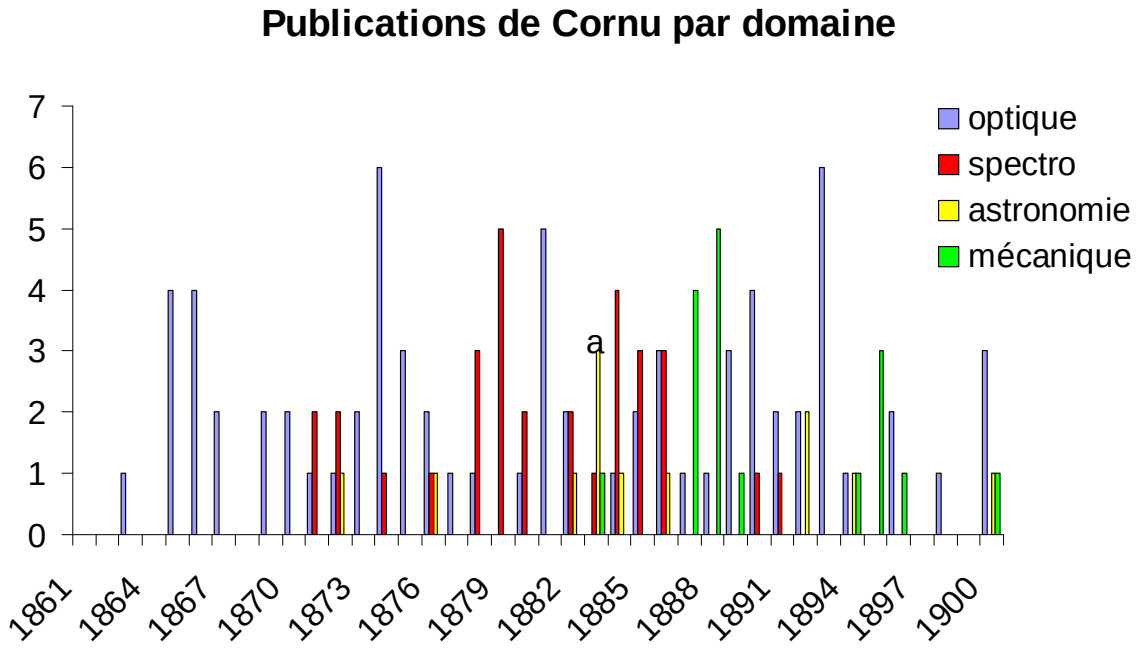
M. Fusinieri pour l'éclipse de 1842 [?] a analysé la lumière de l'auréole au point de vue des couleurs il assure que le spectre manquait de vert.

Protubérances. elles sont de toutes couleurs excepté du vert
noires
blanches
rouge
orange
jaune
bleu
indigo
violet
elles ont souvent 1' 10 à 13 rayons terrestres parallaxe solaire 9''
l'auréole apporte souvent les apparences les plus bizarres- [?]

Analyse des bolides au point de vue des métaux nouveaux »

Annexe 3 : Publications d'Alfred Cornu, d'après le *Catalog of Scientific Papers*, publié par la Royal Society of London, de 1861 à 1900





Annexe 4 : Extrait du dossier d'Alfred Cornu conservé aux Archives de l'Ecole Polytechnique, Cote X-III-b 56

Dès ses années de Lycée, deux choses l'avaient attiré, qui devaient, dans la suite, se partager (quoique inégalement) sa vie intellectuelle : la physique et la musique. Aussitôt que la physique apparaît dans l'enseignement scolaire en troisième, on constate, par ses notes d'écolier, qu'il y est le premier de sa classe et cette place lui demeure à peu près régulièrement pendant les années suivantes. Ses parents, plus âgés, se rappellent très bien qu'il employait alors ses jours de sortie, soit à menuiser ou à tourner, soit à combiner des expériences d'acoustique, à se fabriquer un harmonica, à étudier les vibrations d'une guitare, à construire des baromètres et des thermomètres pour toute sa famille. Il prit alors cette habitude, qu'il a toujours gardée, d'observer et d'interroger, dans toute occasion, les ouvriers de métier, menuisiers, forgerons, ciseleurs, plombiers, etc., pour appliquer ensuite à ses recherches expérimentales les tours de main qu'il avait appris d'eux. En musique, il joignait la théorie à la pratique, appliquant son merveilleux instinct de l'harmonie à combiner des lois musicales, qu'il discutait avec son correspondant à Paris, M. Lecomte, aussi bon dilettante lui-même que savant.

A l'Ecole Polytechnique, il continua tout naturellement ses études physiques, en même temps qu'il s'adonnait avec un zèle particulier à la géométrie descriptive, qui garda toujours ses sympathies. Il avait commencé, en mathématiques spéciales, des travaux de mathématiques originaux et publié un premier mémoire sur les sections toriques ; il poursuivit alors ses recherches personnelles, qui prirent à ce moment, la direction de l'astronomie physique. Une partie de ses soirées se passait à étudier les astres dans le petit observatoire de l'Ecole avec le colonel Laussedat, qui était alors son professeur et qui resta toujours son ami.[…]

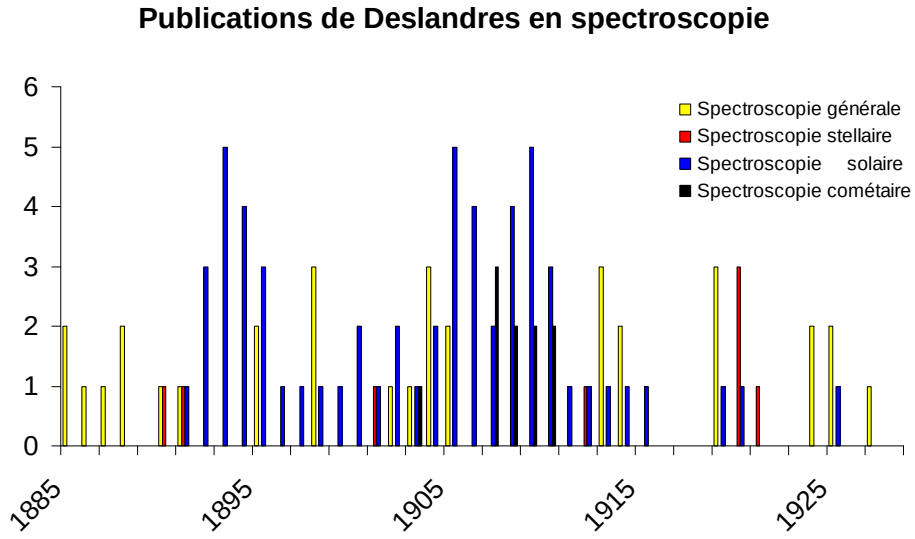
Peu après, en 1867, comme on commençait à se préoccuper du passage de Vénus sur le soleil, qui devait avoir lieu en 1874, et à préparer les expériences d'un intérêt capital auxquelles ce passage allait donner lieu, Fizeau, membre influent de la Commission, se fit adjoindre Cornu, qui devait prendre une part de premier ordre à ses travaux.

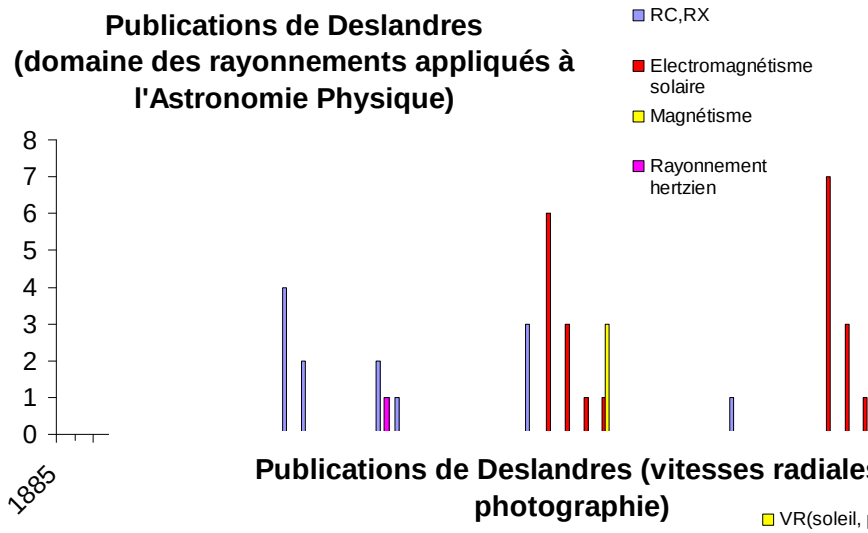
En même temps qu'il reprenait ainsi les recherches astronomiques commencées dès l'Ecole Polytechnique, il s'engageait, en collaboration avec M. Mercadier, dans une longue série d'expériences sur l'acoustique musicale et l'élasticité, qui devaient aboutir aux résultats publiés de 1869 à 1871, et commençait, avec l'aide de M. Baille, les expériences sur la densité de la terre, qui, entièrement terminées, sont pourtant restées à peu près inédites."

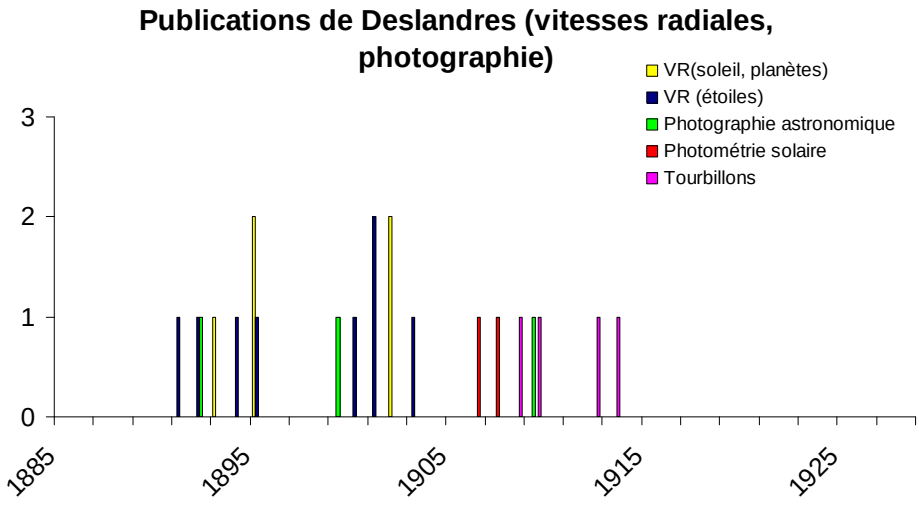
L'année 1873 fut, en même temps, consacrée à diverses recherches astronomiques ou photographiques, provoquées par le passage de Vénus ; pendant les années suivantes, les questions d'astronomie l'occupèrent de plus de plus et amenèrent ses travaux de spectroscopie : spectre ultra-violet, raies sombres du spectre solaire, limite ultra-violette du spectre solaire, etc. ; il avait été nommé, en février 1875, membre du Conseil de l'Observatoire.[…]

Parmi les très nombreux travaux des années suivantes, je me contente de signaler la place importante que commence à prendre, depuis 1883, l'interprétation des phénomènes météorologiques, halos, couronnes autour du soleil, polarisation de la lumière céleste. Beaucoup d'observations relatives à ces questions furent faites à Courtenay. Puis, en 1887, l'astronomie l'amena à s'occuper plus spécialement des questions de chronométrie : questions, qui l'avaient toujours intéressé et qui devaient attirer encore plus son attention, quand il prit, dans la suite, la part la plus active à l'installation de l'Observatoire de Nice.

Annexe 5 : Publications de Henri Deslandres dans les *CRAS* de 1885 à 1928







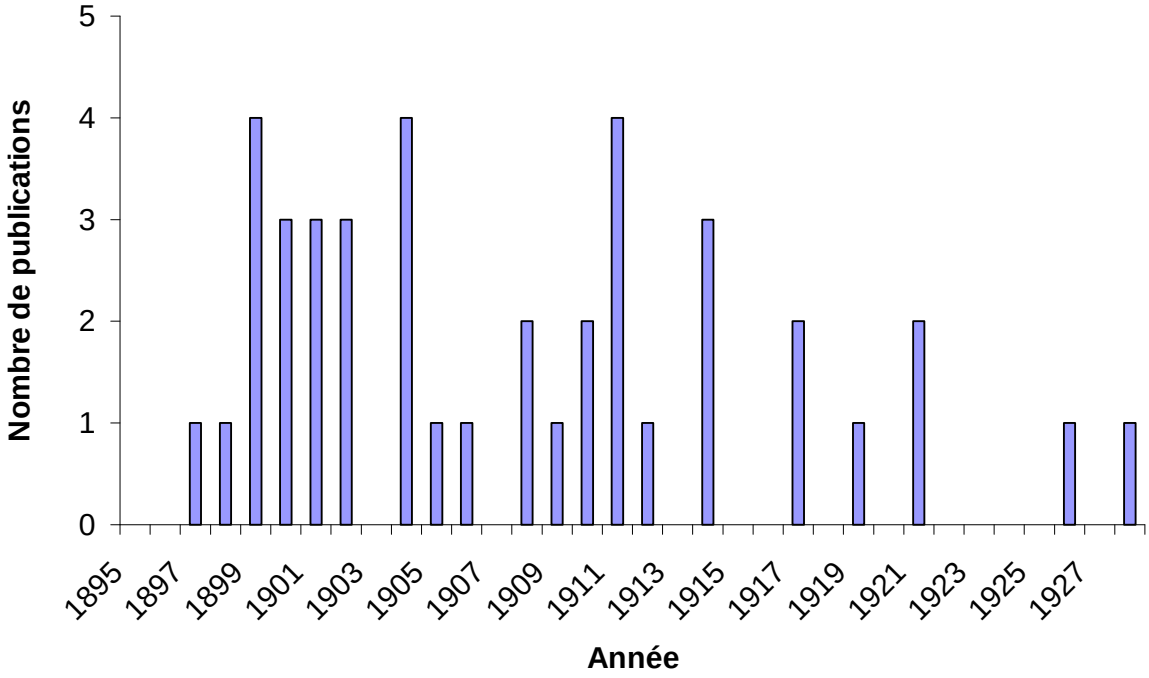
Annexe 6 : Publications des chercheurs français dans l'Astrophysical Journal(1895-1928)

	Auteur	Titre	Nature
1897	CORNU ALFRED	On the observation and kinematic Interpretation of the phenomena observed by Dr. Zeeman	Spectroscopie
1898	CORNU ALFRED	On certain new results relating to the phenomena discoverd by Dr. Zeeman	Spectroscopie
1899	PEROT ALFRED	On the application of interference phenomena to the solution of various problems of	Spectroscopie
	FABRY CHARLES	spectroscopy and metrology	Interferometrie
	DESLANDRES HENRI	Remarks on the methods employed in the determination of the radial velocities of the stars	vitesse radiale étoiles
	COTTON AIME	The present status of Kirchhoff's law	Spectroscopie
	PELLIN PHILIPPE BROCA ANDRE	A spectroscope of fixed deviation	Spectroscopie
1900	CORNU ALFRED	On the law of diurnal rotation of the optical field of the siderostat heliostat	Instrumentation
	DESLANDRES HENRI	Observations of the total solar eclipse of may 28, 1900, at Armgamasilla, Spain	Eclipse
	DESLANDRES HENRI	First results of investigations on the observation of the solar corona without an eclipse by means of the heat rays	couronne solaire
1901	CORNU ALFRED	The atmospheric absorption of the visible rays, determined from the spectroscopic observations of the Eiffel Tower electric lights	spectroscopie
	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	On a new form of interferometer	Interferometrie
	de GRAMONT A.	A graphical study of refraction and dispersion	Optique
1902	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	Measures of absolute wave-lengths in the solar spectrum and in the spectrum of iron	Métrologie

	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	Measures of absolute wave-lengths in the solar spectrum and in the spectrum of iron	Métrologie
	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	A reply to the recent article by Louis Bell	Métrologie
1903			
1904	FABRY CHARLES	On the wave-length of the cadmium line at lambda 5086	Métrologie
	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	On the corrections to Rowland's wave-lengths	Métrologie
	PEROT ALFRED FABRY CHARLES	Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueurs d'onde étalons	Metrologie
	de GRAMONT	Silicon lines in spark an stellar spectra	Spectro. stellaire
1905	FABRY CHARLES	On the spectra of the alkaline-earth fluorides in the electric arc	Spectroscopie
1906	MILLOCHAU G. STEFANIK M.	On a new form of spectroheliograph	Spectro. Solaire
1907			
1908	DE LA BAUME PLUVINEL	Jules César Janssen	Notice nécrologique
	FABRY CHARLES BUISSON HENRI	Wave-length measurements for the esatblishment of a system of spectroscopic standards	Metrologie
1909	FABRY CHARLES	On the size of meteors	Photométrie
1910	FABRY CHARLES	Application de la méthode interférentielle à la mesure de très petits déplacements de raies	Métrologie
	BUISSON HENRI	Comparaison du spectre solaire avec le spectre d'arc du fer.	Spectroscopie
		Comparaison du centre et du bord du soleil.	Interférométrie
	FABRY CHARLES	The intrinsic brightness of the starlit sky	Photométrie
1911	COTTON AIME	On Doppler's principle, in connection with the study of the radial velocities on the sun.	Spectro. Solaire
	FERY CHARLES	A prism with curved faces, for spectrographe or spectroscope	Spectroscopie
	FABRY CHARLES BUISSON HENRI	Application of the interference method to the study of nebulae	Interférométrie
	DE LA BAUME	Spectrum of comet morehouse (1908 c)	Spectro. Cométaire

	PLUVINEL BALDET F.		
1912	COTTON AIME	On the measurement of the Zeeman effect	Spectroscopie
1913			
1914	BUISSON H. KAYSER, AMES, PASCHEN	Secondary standards of wave-length international system in the arc spectrum of iron adopted by the solar union, 1913	Metrologie
	HAMY MAURICE	Spectrosopic binaries under investigation at different institutions	Spectro. Stellaire
	FABRY CHARLES BUISSON HENRI BOURGET H.	An application of interference to the study of the Orion nebula	Interférométrie
1915			
1916			
1917	FABRY CHARLES	Remarks on the temperature of space	Astronomie
	BUISSON HENRI	The minimum radiation visually perceptible	Métrologie
1918			
1919	FABRY CHARLES	The general illumination of the sky	Astronomie
1920			
1921	SALET PIERRE	On the Pressure in the atmospheres of the stars	Physique stellaire
	FABRY CHARLES BUISSON HENRI	A study of the ultra-violet end of the solar spectrum	Spectro. solaire
1922			
1923			
1924			
1925			
1926	FABRY CHARLES	Alfred Perot	Nécrologie
1927			
1928	HAMY MAURICE	On a new measuring machine for measuring displacements on stellar spectrograms	Instrumentation/ spectro. stellaire

Publications de chercheurs français dans l'*Astrophysical Journal* (1895-1928)



Annexe 7 : Lettre de Henri Deslandres à William Campbell, New York le 28 septembre 1910 (conservée à la bibliothèque du Lick Observatory)

Cher Monsieur,

Je m'embarque demain pour l'Europe avec la plupart des congressistes français, et, avant de quitter le sol américain, je veux vous remercier une fois encore de votre aimable accueil. J'ai passé au Mont Hamilton deux journées fort agréables et, en même temps fort instructives. Votre observatoire réunit en effet toutes les qualités qui sont désirables au point de vue astronomique ; il est remarquable par sa situation, par la valeur des instruments et du personnel. C'est un observatoire modèle.

J'ai constaté par mes yeux que nous avions vu juste, en vous décernant pour la seconde fois un prix de notre Académie. A ce propos, je vous rappelle que vous devez m'envoyer une copie de votre médaille, afin que l'on vous envoie, s'il est possible une médaille différente.

Cette médaille Janssen, destinée aux astrophysiciens, est une des bonnes œuvres de mon prédécesseur. Par contre, sur d'autres points, il a été bien nuisible. Il a gêné fortement, et par tous les moyens, les astronomes sous ses ordres (Trouvelot, Perrotin, et moi-même) ; en fait, il n'a formé aucun élève ; et comme le disait justement M^{r} Poincaré, il a arrêté pendant plus de 20 ans les progrès de l'astronomie physique en France.

Aussi ai-je été d'abord étonné, lorsque, chez vous, M^{r} Newall a pris chaudement la défense de Janssen ; je ne l'ai pas contredit, voulant vous éviter une discussion de ce genre. Puis, [en y] réfléchissant, j'ai bien ri : les amis de Hale louent fortement Janssen simplement, parce que, dans ces dernières années, Janssen a pris parti contre moi dans la discussion que j'ai eue avec Hale sur des questions de priorité. Mais cet appui de Janssen n'a aucune valeur car nous étions en trop mauvais termes. Jugez-en. D'après la coutume française, le fondateur d'un établissement en conserve la direction jusqu'à sa mort : mais Janssen, à partir de 1904, était ramolli, gâteux ; et, en fait, l'observatoire était dirigé par sa femme et sa fille, qui avaient pris pour directeur scientifique de la Baume Pluvinel, lequel est un homme sérieux mais un simple

amateur. C'était intolérable. Aussi le gouvernement, en 1906, m'a donné la direction effective, en laissant à Janssen le titre et les appointements. D'où grande fureur des Janssen, qui, au congrès de Meudon, en 1907, ont dit de moi, paraît-il, tout le mal possible. Après la mort de Janssen, j'ai eu avec Madame Janssen un procès [?] que j'ai gagné d'ailleurs.

Votre collègue Hale est décidément un struggle for life de premier ordre ; il emploie tous les moyens. Il est extrêmement habile, ayant les qualités d'un homme politique et d'un savant, mais surtout les qualités d'un homme politique. Sur le terrain scientifique, il a fait de grandes découvertes mais, en général, il les interprète mal ; tous ses appareils sont fort compliqués. Il a organisé très habilement le congrès solaire, avec un petit groupe compact de la Société astronomique de Londres, avec des gens qui ont des intérêts communs, mais qui lui sont inférieurs ; ce qui lui assure la suprématie.

Vous rappelez-vous le premier congrès d'Oxford. Turner se lève et dit : je propose M^{r} Shuster comme président de … ; puis un instant après, Shuster se lève à son tour. Je propose M^{r} Turner comme président de … La comédie humaine est bien amusante. Le syndicat était ainsi formé, chaque membre s'engageant à soutenir les autres membres du syndicat. Shuster, qui veut devenir Sir, accepte d'être Chairman bien que n'étant pas astronome, et, dans ses conditions, est sous la dépendance de Hale. Turner, lui, veut être astronomer royal et demande à avoir une fonction solaire, puisque, à Greenwich, on étudia le Soleil ; mais, on disait avant mon départ de France, que Dyson était considéré comme ayant une valeur plus grande, et serait probablement le successeur de Christie. Enfin, dans le groupe, Newall veut être président de quelque chose ; il a une belle tête, mais une valeur scientifique très ordinaire. Il suit fidèlement l'impulsion des autres membres.

Ce petit groupe, bien discipliné, a mené jusqu'ici le congrès. Mais, savez-vous pourquoi dans les trois congrès, Shuster a mené rapidement les choses, en réclamant toujours la diminution ou la suppression des séances ? C'est afin d'éviter que de nouveaux groupements contraires se forment dans l'Union. Shuster est un tacticien habile. Aussi je lui disais, en le quittant à Pasadena : La comédie humaine est bien amusante, surtout dans les Congrès.

D'ailleurs, ces critiques mises à part, les choses n'ont pas trop mal marché ; et, d'ailleurs, dans ces congrès, les premières places doivent être réservées à ceux qui parlent plusieurs langues. C'est vous dire que je suis pas candidat (sic) à aucune de ces places de chairman ou président. Je ne parle que le français ; et, dans nos dernières réunions, j'ai été bien gêné, ne comprenant pas le plus souvent ce que vous disiez.

Pardonnez-moi de vous en écrire si long : je voulais d'abord écrire quelques lignes, et je vois que je suis à ma quatrième page.

Je vous prie de présenter mes respectueux hommages à Madame Campbell et de croire à mes sentiments les plus cordiaux.

H. Deslandres.

P.S. Je maintiens toujours naturellement mes réclamations de priorité avec Hale pour les recherches sur les raies H et K de 1891 à 1894. Il suffit pour moi de considérer les dates des publications. Ce que je reproche le plus à Hale, c'est de ne pas me citer, même lorsqu'il n'y a pas de discussion possible. Récemment, il a publié dans les Proceedings en Janvier 1910 une note, qui reproduit en partie une note que j'ai publiée dans les Comptes rendus de Septembre 1909 et qu'il avait certainement lue. Or, il ne la cite pas, j'ai fait constater le fait à Larmor.

Bibliographie

Fonds d'archives

Archives de l'Académie des Sciences

Nous avons exploité les dossiers individuels des savants, quand ces derniers ont appartenu à l'institution académique, comme académicien ou comme correspondant.

Archives Nationales

F17 3745 à 3751 : Observatoire de Meudon (création, nomination des membres du Conseil de l'observatoire, affaires scientifiques, comptabilité, dépenses de personnel et de matériel, budget)

F17 2955A : Henri Deslandres

F17 14 531-14 532 : Faculté des Sciences

Archives de l'Ecole Polytechnique

Nous avons consulté les dossiers administratifs de Jean Bosler, Alfred Cornu, Henri Deslandres et Hervé Faye. Nous avons également consulté les cahiers de laboratoire d'Alfred Cornu (1871-1900, certaines années étant manquantes), et les cours de physique de Cornu et Pérot.

Archives de l'observatoire de Meudon

Le groupe *Patrimoine* de l'observatoire de Meudon, animé par Audoin Dollfus et Françoise Launay, maintient à Meudon la présence d'archives importantes. Nous avons pu consulté, entre autres, les *Annales de l'observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, et les cahiers de laboratoire de Henri Deslandres.

Archives de l'observatoire Abbadia à Hendaye

La bibliothèque de l'observatoire fondé par Antoine d'Abbadie en 1870 rassemble un fonds extrêmement riche d'ouvrages concernant l'ensemble des sciences et de revues scientifiques du XIX^{ème} siècle. Nous avons de plus consulté la correspondance conservée à l'observatoire : lettres de Henri Deslandres, Jean Bosler, Henri Poincaré, Albert Nodon.

Archives de l'observatoire Flammarion à Juvisy

La bibliothèque de l'observatoire créé par Camille Flammarion est également très riche. Hormis les ouvrages scientifiques, nous avons consulté la correspondance de Flammarion : lettres de Henri Deslandres, Bernard Lyot, Henri Poincaré, Aymar de la Baume Pluvinel, Antoinette Janssen, Jules Janssen, George Ellery Hale.

Bibliothèque de l'Institut

La bibliothèque conserve de nombreux éléments de correspondance et les carnets personnels des savants . Nous avons exploité une partie des archives concernant Jules Janssen, conservées sous les cotes Ms 4125 à 4137. Ce fonds est extrêmement important et méritera une étude systématique ultérieure étant donné les personnes de premier plan que Janssen a côtoyées tant dans les milieux scientifiques qu'artistiques et politiques.

Bibliothèque de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

Ce fonds nous a fourni peu d'éléments utiles pour notre recherche, hormis les rapports des Expositions Universelles.

Société Française de Photographie

Nous avons pu disposer d'images numérisées prises par Jules Janssen, que cette Société possède.

Ressources internet

De nombreuses revues, correspondances et ouvrages sont désormais disponibles sur Internet. Certains sites nous ont été d'une grande utilité, nous mettant à disposition des sources primaires de façon rapide, ainsi qu'une source iconographique abondante. Nous avons ainsi utilisé les sites suivants :

http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html et http://adsabs.harvard.edu/historical.html : nombreux revues d'astronomie et d'astrophysique du XIX^{ème} siècle et du XX^{ème} siècle y sont numérisées (*Astrophysical Journal, The Observatory,Bulletin Astronomique, Journal des Observateurs*, annales et bulletins d'observatoires américains et européens, etc.)

http://cnum.cnam.fr/RUB/fcata.html : Annales du CNAM (1861-1933, 25 vol.), Cahiers d'histoire du CNAM (1992-1996, 4 vol.), La Lumière électrique (1879-1894 ; 1908-1916, 89 vol.), La Nature (1873-1905, 68 vol.).

http://gallica.bnf.fr/ : nombreux ouvrages et périodiques du XIX^{ème} siècle ; *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, *Catalog of scientific papers (compiled and published by the Royal Society of London)* permettant d'établir une liste exhaustive des publications de chaque scientifique jusqu'en 1900, *Annales de Chimie et de Physique*, *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, etc.

http://www.journals.uchicago.edu/Isis/ : quelques articles d'historiens des sciences contemporains sont disponibles.

http://eureka.rlg.org/ : pour l'historiographie.

http://www.numdam.org/numdam-bin/recherche : nous avons principalement consulté les *Annales scientifiques de l'ENS (1864-2000)*.

http://www.polytechnique.fr/bcx/ : éléments biographiques des polytechniciens, quelques cours numérisés (Cornu, Faye), notices de constructeurs issus de l'Ecole Polytechnique, etc.

http://www.univ-nancy2.fr/poincare/chp/ : numérisation de la correspondance de Henri Poincaré.

http://library.ucsc.edu/speccoll/lick/index.html
http://www.lowell.edu/Research/library/pub/main.php?selection=correspondence&choice=Search : sites des observatoires Lick et Lowell offrant quelques sources primaires.

http://digicoll.library.wisc.edu/HistSciTech/About.shtml : site de l'Université du Wisconsin permettant la consultation de la revue *Nature (1869-1875)* et des ouvrages d'astronomie comme *The Sun ans the welfare of man* de Charles Abbot (1938).

Sources orales

DOLLFUS, Audoin, astronome honoraire de l'Observatoire de Paris, entretien à l'observatoire de Meudon le 18 avril 2005.

GEORGELIN, Yvon, astronome, ancien directeur de l'observatoire de Marseille, entretien téléphonique, octobre 2005.

Ouvrages et articles généraux

« 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001.

«Les grandes familles», *Historia*, n°683, novembre 2003, p.54-78.

«Ces instruments qui font la science», *Sciences et Avenir Hors série*, n°140, octobre - novembre 2004.

« Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995.

«Par la science, pour la patrie», L'Association Française pour l' Avancement des Sciences (1872-1914), Un projet Politique pour une Société Savante, GISPERT, Hélène (dir.), Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002

«Congrès International pour les études solaires», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.24, 1907, p.347

«Les récents progrès de l'aéronautique», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.19, 1900, p.1077.

« Le récent Congrès International de météorologie», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.19, 1900, p.1078.

100 years of observational astronomy and astrophysics: a collection of papers on the history of observational astrophysics : homage to Miklós Konkoly Thege (1842-1916), Christiaan STERKEN, Christian, HEARNSHAW, John B. (dir.), Bruxelles, Vrije Univeriteit Brussel, 1999 (?)

AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002.

ALLAMEL RAFFIN, Catherine, *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse soutenue le 26 novembre 2004 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I

AMAR, Pierre-Jean, *Histoire de la Photographie*, Paris, PUF, Collection «Que sais-je», 1997.

ANIZAN, Anne-Laure, *Paul Painlevé (1863-1933). Un scientifique en politique*, thèse soutenue le 13 juin 2006 à l'Institut d'Etudes Politiques de Paris.

ATTEN, Michel, PESTRE, Dominique, « De l'administration des preuves en physique », *La Recherche*, n°312, septembre 1998, p.76-81.

AUBIN, David, « The fading star of the Paris Observatory in the nineteenth Century : astronomer's urban culture of circulation and observation », *Osiris*, 18, 2003, pp. 79-100.

AUBIN, David, BIGG, Charlotte, SIBUM, Otto, *The Heavens on Earth : Observatory Techniques in the Nineteenth Century* (en préparation).

BARBO, Loïc, *Pierre Curie (1859-1906) : le rêve scientifique*, Paris, Belin, 1998

BARBO, Loïc, *Les Becquerel, une dynastie de scientifiques*, Paris, Belin, 2003.

BECKER, Barbara, « Visionary Memories : William Huggins and the Origins of Astrophysics », *Journal for the History of Astronomy*, 2001, vol.32, fasc. 1, p.43-62.

BERNARD, Denis, GUNTHERT, André, *L'Instant Rêvé, Albert Londe*, Nîmes, Editions Jacqueline Chambon, 1993.

BIGG, Charlotte, *Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe*, thèse de doctorat, University of Cambridge, 2002.

BIGG, Charlotte, «Photography and the labour history of astronomy : The Carte du Ciel», *Acta Historica Astronomiae, vol.9 : The Role of Visual Representation in Astronomy : History and Research Practice*, 2000, p. 90-106

BIGG, Charlotte, *The reception of Bohr's atom in France (1913-1925)*, manuscrit non publié.

BIGOURDAN, Guillaume, *L'Astronomie. Evolution des idées et des méthodes*, Paris,Flammarion, 1920.

BLAY, Michel, *Lumiéres sur les Couleurs, Le Regard du Physicien*, Paris, Ellipses, 2001.

BOUDENOT, Jean-Claude, SAMUELI, Jean-Jacques, *H. Poincaré (1854-1912) physicien*, Paris, Ellipses, 2005.

BOURDIEU, Pierre, *Science de la science et réflexivité*, Paris, Editions Raisons d'agir, 2001.

BOUTAN, Augustin, D'Almeida, Joseph Charles, *Cours élémentaire de physique*, Paris, Dunod, 1874.

CANGUILHEM, Denis, *Le Merveilleux Scientifique. Photographies du monde savant en France 1844-1918*, Paris, Gallimard, 2004.

CARMONA, Michel, *Eiffel*, Paris, Fayard, 2002

CHABERLOT, Frédéric, *La Voie lactée. Histoire des conceptions et des modèles de notre Galaxie des temps anciens aux années 1930*, Paris, CNRS Editions, 2003.

CHABOT, Hugues, « Arago : à l'affût d'une théorie alternative », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.70-76.

CHABOT, Hugues, « Jacques Babinet. Un savant vulgarisateur », in *Aventures scientfiques. Savants en Poitou-Charentes du XVI^e au XX^e siècle*, DHOMBRES, Jean (dir.), Poitiers, Les éditions de l'Actualité Poitou-Charentes, 1995, p.16-29.

CHALINE, Jean-Pierre, *Sociabilité et Erudition, les Sociétés Savantes en France*, Paris, Editions du CTHS, 1998.

CHARLES, Christophe, *Les Intellectuels en Europe au XIXème siècle*, Editions du Seuil, 1996.

CHARLE, Christophe, « Produire et diffuser les idées. Les arcanes de la reconnaissance universitaire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Auxerre, Sciences Humaines Editions, 1997, p.21-30.

CHEZEAU, Nicole, *De la forge au laboratoire. Naissance de la métallurgie physique (1860-1914)*, Presses Universitaires de Rennes, 2004.

CHINICCI, Ileana, *La carte du ciel : correspondance inédite conservée dans les archives inédites de l'observatoire de Paris*, Observatoire de Paris, 1999.

COHEN, Yves, DROUIN, Jean-Marc (dir.), «Les amateurs de sciences et de techniques», *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, n°27, 1989.

CRAS, Tables, 1865-1880, 1881-1895

DAGOGNET, François, *Etienne-Jules Marey. La Passion de la Trace*, Paris, Hazan, 1987.

DANJON, André, COUDERC, André, *Lunettes et télescopes, Théorie, Conditions d'emploi, Description, Réglages*, Paris, Albert Blanchard, 1999, (édition originale 1935).

DASTON, Lorraine, GALISON, Peter, « The image of objectivity », *Representations*, vol.40, 1983, p.82-128.

DAVIS, J.-L., «The influence of astronomy on the character of physics», *Historical Studies in the physical sciences*, 16, 1986, p.59-92.

DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, Paris, CNRS Editions, 2000.

DEBRE, Patrice, *Louis Pasteur*, Paris, Flammarion, 1994.

DELPORTE, E., DELVOSAL, J., MERLIN, E., PHILIPPOT, H., STROOBANT, P., *Les observatoires astronomiques et les astronomes*, Bruxelles, Hayez, imprimeur de l'observatoire royal de Belgique, 1907.

DETTELBACH, Michael, « Humboldtian science », in *Cultures of Natural History*, JARDINE, N., SECORD, J.A., SPARY, E.C. (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, p.287-304.

DETTELBACH, Michael, « La science omnivore d'Alexander von Humboldt », *La Recherche*, n°302, octobre 1997, p.90-95.

DEVORKIN, David, «Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.90-108.

Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences, LECOURT, Dominique (dir.), Paris, Puf, 1999.

Dictionnaire de l'Astronomie, Paris, Encyclopedia Universalis et Albin Michel, 1999.

DUBOSCQ, Jules, *Historique et catalogue de tous les instruments d'optique supérieure appliqués aux sciences et à l'industrie*, 1885.

DUBOIS, Michel, « La matérialité de la pratique scientifique », in « Ces instruments qui font la science », *Hors-série Science et Avenir*, n°140, octobre-novembre 2004, p.58-62.

DOEL, Ronald, *Solar system astronomy in America : communities, patronage, and interdisciplinary science, 1920-1960*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996

DOLLFUS, Audoin, «Le Grand Telescope de Janssen de l'Observatoire de Meudon», *L'Astronomie*, 114, juillet-août 2000, octobre 2000.

DOLLFUS, *La grande lunette de Meudon. Les yeux de la découverte*, Paris, CNRS Editions, 2006.

DORRIES, Matthias, «Balances, spectroscopes, and the Reflexive Nature of Experiment», *Studies in History and Philosphy of Science*, 25, 1994, p.1-36.

DORRIES, Matthias, «Easy Transit : Crossing Boundaries and Chemistry in mid-Nineteenth Century France», in SMITH, Crosbie, AGAR, Jon (dir), *Making Space for Science*, Manchester, 1998, p.246-262.

DUHEM, Pierre, « L'évolution de la mécanique », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.6, 1903, p.63-73 ; p.119-132 ; p.171-190 ; p.247-238 ; p.352-365 ; p.416-429.

Eléments d'Histoire des Sciences, Michel Serres (dir.), Paris, Larousse-Bordas, 1997

FEHRENBACH, Charles, *Des hommes, des télescopes, des étoiles*, Paris, Editions du CNRS, 1990.

FEURTET, Jean-Marie, *Le Bureau des Longitudes (1795-1854). De Lalande à Le Verrier*, thèse de l'Ecole des Chartes soutenue le 17 mars 2005.

FLAMMARION, Camille, *Astronomie Populaire*,1880.

FLAMMARION, Camille, *Mémoires Biographiques et philosophiques d'un astronome*, 1912.

FLAUBERT, *Bouvard et Pécuchet*, Le Livre de Poche Classique, 1999.

FOUCAULT, Michel, *L'archéologie du savoir*, Paris, Gallimard, 1969.

FOX, Robert, « The rise and fall of Laplacian physics « , *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, 1974, p.89-136.

FOX, Robert, « Scientific enterprise and the patronage of research in France, 1800-1870 », in FOX, R., TURNER, G. L'Estrange, *The patronage of science in the nineteenth century*, Noordhoff International Publishing, Leyden, 1976.

FOX, Robert, GUAGNINI, Anna, « Laboratories, workshops, and sites. Concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914 «, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 29 (1998-1999).

GALISON, Peter, *L'Empire du Temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Paris, Robert Laffont, 2005.

GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, Chicago, University of Chicago Press, 1997.

GAYET, Mireille, *Alexandre de Humboldt, le dernier savant universel*, Paris, Vuibert Adapt, 2006.

GEORGELIN, Yvon, ARZANO, Simone, « L'éclipse de Soleil du 18 août 1868. Stephan, Rayet, hôtes du roi de Siam à Wha-Tonne », *L'Astronomie*, vol.113, janvier-février 1999, p.12-17.

GISPERT, Jacques, *Cours élémentaire d'Astronomie Générale*, http://www.dil.univmrs.fr/~gispert/enseignement/astronomie/2eme_partie/cosmogonie.html

GODLEWSKA, Anne Marie Claire, « From Enlightenment Vision to Modern Science ? Humboldt's Visual Thinking », in LIVINGSTON, D.N., WITHERS, C.W.J. (dir.), *Geography and Enlightenment*, Chicago, University of Chicago Press, 1999, p.236-275.

GRANGE, Juliette, *Auguste Comte. Philosophie des Sciences. Présentation, choix de textes et notes*, Gallimard, 1996.

GUILLEMIN, Amédée, *Le Ciel*, Paris, Hachette, 5ème édition, 1877.

GUILLEMIN, Amédée, *Le Soleil*, Paris, Hachette, 1880.

GUILLEMIN, Amédée, *Les étoiles*, Paris, Hachette, 1884.

GUIRAL, Pierre, *Adolphe Thiers*, Paris, Fayard, 1986.

HAHN, Roger, *Le système du monde. Pierre Simon Laplace. Un itinéraire dans la science*, Gallimard, 2004.

HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of Starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford, Oxford University Press, 2002

Histoire générale des sciences ,R. Taton (dir.), Paris, PUF, 1966, t.2,3,4.

HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Baltimore et Londres, Johns Hopkins University Press, 1993.

HULIN, Nicole, « Un pôle scientifique. La section des sciences de l'Ecole normale supérieure. Quelques jalons de son histoire », in *Livre du Bicentenaire de l'Ecole normale supérieure*, SIRINELLI, J.F. (dir.), Paris, PUF, 1994

HUMBOLDT, Alexander von, *Cosmos : essai d'une description physique du monde*, traduction de Hervé Faye et Charles Galuski, Paris, Gide et Baudry, 1855-1859.

HURWIC, Anna, *Pierre Curie*, Paris, Flammarion, 1995.

Instruments of Science : an Historical Encyclopedia, BUD, Robert, WARNER, Deborah Jean (dir.), New-York, Garland Pub, 1998.

JACKSON, Myles W., *Spectrum of belief, Joseph von Fraunhofer and the craft of precision optics*, Cambridge, MIT Press, 2000.

JACQUES, Jean, *Berthelot: autopsie d'un mythe*, Paris, Belin, 1987.

JAMES, F.A.J.L., « The creation of a victorian myth : the historiography of spectroscopy », *History of Science*, vol.23, 1985, p.1-24.

JOERGES, Bernward, SHINN, Terry (dir.), *Instrumentation between science, state and industry*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 2001.

JOHNSTON, Sean, F., *A History of Light and Measurement*, Londres, Institute of Physics Pblishing, 2001.

JONES, D.H.P., « Was the Carte du Ciel an obstruction to the development of astrophysics in Europe », in HECK, André, *Information handling in astronomy-historical vistas*, Kluwer Academic Publishers, 2003, p.267-273

KOUNELIS, Catherine, « Heurs et malheurs de la chimie. La réforme des années 1880 », in *La Formation Polytechnicienne, 1794-1994*, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Paris, Dunod, 1994, p.246-264.

LACHIEZE-REY, Marc, *Initiation à la cosmologie*, Paris, Masson, 1992.

La Formation Polytechnicienne, 1794-1994, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Paris, Dunod, 1994.

LAMY, Jérôme, *Archéologie d'un espace savant. L'observatoire de Toulouse aux 18ème et 19ème siècle : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, thèse de doctorat, EHESS, 2004.

LANKFORD, John, « Amateurs and astrophysics : A Neglected Aspect in the Development of a Scientific Specialty», *Social Studies of Science*, 11, 1981, p.275-303.

LANKFORD, John, «Photography and the 19th-century Transits of Vénus», *Technology and Culture*, 28, 1987, p.648-657.

LANKFORD, John, *American Astronomy, Community, Careers and Power, 1859-1940*, Chicago and London, University of Chicago Press, 1997.

LANKFORD, John, *History of Astronomy. An Encyclopedia*, New-York, Londres, Garland Publishing, 1997.

LANKFORD, John, SLAVINGS, Ricky L., « The Industrialization of American Astronomy, 1880-1940», *Physics Today*, 49, 1996, p.34-41

LANKFORD, John, «The impact of photography on astronomy», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.16-39.

LE GARS, Stephane, » La spectroscopie solaire : les contributions de Jules Janssen », Mémoire de DEA, Université de Nantes, 2002.

LE GARS, Stephane, » Vénus, 1874 : la mise en place des fondements techniques et institutionnels de l'astrophysique française », Actes du colloque « L'événement astronomique du siècle ? Une histoire sociale des passages de Vénus 1874-1882 », à paraître dans *les Cahiers du Centre Viète.*

LE GARS, Stephane, « Jules Janssen et la nécessité du lien social dans la construction du savoir scientifique et technique. », in *Regards croisés sur le lien social*, BOUGET, Denis, KARSENTY, Serge (dir.), Editions L'Harmattan, mars 2005.

LE GARS, Stephane, MAISON, Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

LE GARS, Stephane, « The mountain observatory : subsidiary of urban observatories or laboratory of exploit ? The example of the Mont Blanc observatory (1893-1909) », article proposé au workshop organisé à Castasegna, en Suisse, par David Aubin, Charlotte Bigg, Philip Felsch et Michael Hagner.

Les observatoires astronomiques et les astronomes, Gembloux éditeur, 1936.

LEON, Antoine, *Histoire de l'enseignement en France*, Paris, Puf, Collection Que sais-je ?, 1967.

L'histoire aujourd'hui, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Auxerre, Sciences Humaines Editions, 1997.

MAISON, Laetitia, « Les observatoires italiens en 1875 : un exemple pour le renouveau de l'astronomie française ? », *Nuncius*, vol.18, fasc.2, 2003.

MAISON, Laetitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, thèse doctorat, Université de Bordeaux 1, 2004.

MAITTE, Bernard, « Les bricolages prometteurs d'un jeune exilé », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.60-69.

MAITTE, Bernard, *La lumière*, Paris, Editions du Seuil, 1981.

MARTIN-FUGIER, Anne, *Les Salons de la III^e^ République, Art, Littérature, Politique*, Paris, Perrin, 2003.

MASCART, Jean, *Impressions et voyages dans un voyage à Tenerife*, Paris, Flammarion, 1910.

MASCART, Jean, «Les Relations entre l'Activité solaire et l'Electricité atmosphérique», *Journal des Observateurs*, vol.9, n°3, p.33-35.

MEADOWS, A. J., « The origins of astrophysics », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.3-16.

MEADOWS, A. J., « The new astronomy », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.59-72.

MELONIO, Françoise, *Naissance et affirmation d'une culture nationale, la France de 1815 à 1880*, Paris, Editions du Seuil, 1998.

MERLEAU-PONTY, Jacques, *Cosmologie du XX^e^ siècle. Etude épistémologique des théories de la cosmologie contemporaine*, Paris, Gallimard, 1965.

MERLEAU-PONTY, Jacques, *La science de l'univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, Paris, Vrin, 1983

NYE, Mary Jo, *Sciences in the Provinces, Scientific Communities and Provincial Lleadership in France, 1860-1930*, University of California Press, 1986.

O'CONNEL, Joseph, « Metrology : the creation of universality by the circulation of particulars », *Social Studies of Science*, vol.23, 1993, p.129-173.

PAPILLON, Fernand, « Les laboratoires en France et à l'étranger », *Revue des deux-mondes*, 2e série, t.94, 1871, p.594-609.

PASTOUREAU, Michel, *Bleu, Histoire d'une Couleur*, Paris, Editions du Seuil, 2000

PAYEN, Jacques, «Les constructeurs d'instruments scientifiques en France», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, n°116, vol.36, 1986.

PECKER, J.C., SCHATZMAN, E., *Astrophysique Générale*, Paris, Masson, 1959

PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992.

PESTRE, Dominique, « Lieux de sciences », numéro spécial de *La Recherche*, coordonné par Dominique Pestre, n°300, juillet-août 1997, p.26-27.

PESTRE, Dominique, « Les sciences et l'histoire aujourd'hui », *Le Débat*, novembre-décembre 1998, p.53-68.

PESTRE, Dominique, « Entre tour d'ivoire et Silicon Valley », *La Recherche*, n°326, décembre 1999, p.55-58.

PESTRE, Dominique, *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*. Paris, INRA, 2003.

Physique et Humanités scientifiques. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Etudes et documents, HULIN, Nicole, (dir.), Presses Universitaires du Septentrion, 2000.

Perspectives on te emergence of scientific discipines, LEMAINE, Gerard, MACLEOD, Roy, MULKAY, Michael, WEINGART, Peter, Mouton & Co., Paris, et Aldine Publishing Company, Chicago, The Hague et Maison des Sciences de l'Homme, 1976.

POINCARE, Henri, *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1968.

« Rapport de la Commission nommée le 17 août pour préparer une réponse à la Lettre adressée par M. le Ministre de l'Instruction publique, au sujet de l'opportunité de la création d'un Observatoire d'Astronomie Physique aux environs de Paris », *CRAS*, 1874, t.79, p.1018-1024.

REVEL, Jacques, « L'émergence de la micro-histoire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Auxerre, Sciences Humaines Editions, 1997.

ROMANI, Lucien, *Théorie Générale de l'Univers Physique (Réduction à la Cinématique), t.2, Applications*, Paris, Librairie Blanchard, 1976.

ROMANI, Lucien, *La naissance du système solaire*, Paris, Librairie Blanchard, 1983. Préface d'Audoin Dollfus.

ROSANVALLON, Pierre, *L'Etat en France de 1789 à nos jours*, Paris, Editions du Seuil, 1990.

SAINT-MARTIN, Arnaud, « La phase critique de la Carte du Ciel à Paris, 1920-1940 », in LAMY, Jérôme, *La Carte du Ciel*, Paris, EDP Sciences, à paraître.

SARDA, François, *Les Arago, François et les autres*, Paris, Tallandier, 2002

SCHAFFER, Simon, « Where experiments end : tabletop trials in Victorian astronomy », in *Scientific practice : theories ans stories of doing physics*, Chicago & London , The University of Chicago Press, 1995, p. 257-299.

SHINN, Terry, *L'Ecole Polytechnique : 1794-1914*, Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 1980.

SHINN, Terry, « La science en France », *1975-1999, Sociologie et société*, 32, n°1, printemps 2000.

SHINN, Terry, « Progress and paradoxes in the French science and technology 1900-1930 «, *Social Science Information*, vol.28, 1989, p.659-683.

SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Paris, Les Empêcheurs de penser en rond, 1994.

SICARD, Monique, *La Fabrique du Regard*, Paris, Edition Odile Jacob, 1998.

SMITH, Crosbie, AGAR, Jon, *Making Space for Science*, Manchester, 1998

STALEY, R., « The new age of physics : Space Time on a Photographic Plate», *The Cambridge Review*, vol.116, 1995, p.3-12.

TALBOT, Jean, *Les Eléments Chimiques et les Hommes*, Paris, SIRPE Editeur, 1995.

The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

The organization of science and technology in France 1808-1914, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambridge, Cambride University Press, Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980.

The Values of Precision, WISE, Norton (dir.), Princeton University Press, 1995.

TOBIN, William, *Léon Foucault*, Paris, EDP Sciences, 2002.

Un siècle d'astronomie dans la revue L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), , Paris, Vuibert, mai 2003

VAUCOULEURS, Gérard, *La Photographie Astronomique, du daguerréotype au télescope électronique*, Paris, Albin Michel, 1959.

VENAYRE, Sylvain, *La Gloire de l'Aventure, Genèse d'une Mystique Moderne 1850-1940*, Paris, Aubier, 2002.

VERDET, E., *Leçons d'optique physique*, t.2, Paris, Masson, 1872, p.162-163.

VERON, Philippe, «Préhistoire de l'Observatoire de Haute Provence», *Colloque Observatoires et patrimoine astronomique français*, Nantes, 8-9 juin 2001, www.obs-hp.fr/www/preprints/pp156/pp156.pdf

VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

VIVIAN, Robert, *L'épopée Vallot au Mont Blanc*, Paris, Denoël, 1986.

WRIGHT, Helen, *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966.

WOJTKOWIAK, Bruno, *Histoire de la Chimie*, Paris, Technique et Documentation, 1988.

ZWERLING, Craig, « The emergence of the Ecole Normale Superieure as a centre of scientific education in nineteenth-century », in *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambridge, Cambride University Press, Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980, p.31-60.

Eléments de prosopographie de l'astronomie physique

Dossiers biographiques des Archives de l'Académie des Sciences consultés

Lucien d'Azambuja, Jean Bosler, Emile Brunner, Alfred Cornu, Henri Deslandres, Hervé Faye, Jules Janssen, l'abbé Moigno, Jean Mascart, Charles Nordmann, Louis Thollon, Etienne-Léopold Trouvelot,

François Arago

AUDIGANNE, A., *François Arago. Son génie et son influence*, Garnier, Paris, 1857.

BERTRAND, J., *Arago et sa vie scientifique*, Hetzel, Paris, 1865.

BIJAOUI, Albert, « François Arago. Un astronome à l'esprit universel », *L'Astronomie*, vol.117, septembre 2003, p.402-407.

CHABOT, Hughes, « Arago : à l'affût d'une théorie alternative », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.70-76.

CHAVALIER, Gérard, « Un pygmalion catalan », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.39-40.

DAUMAS, Maurice, *Arago*, Gallimard, 1943, 3ème édition.

DEBARBAT, Suzanne, « Arago et les hommes de science de son temps », *L'Astronomie*, vol.117, septembre 2003, p.386-392.

DOUGHERTY, L.M., DOLFFUS, A., « F.D. Arago's polarimeter and his original observation of extraterrestrial polarisation in 1811 », *Journal of the British Astronomical Association*, vol.99, 1989, p.183-186.

HOWARD-DUFF, Ian, « D.F.J. Arago, 1786-1853 », *Journal of the British Astronomical Association*, vol.97, 1986, p.26-29.

HUMBOLDT, Alexandre de, « Introduction », in ARAGO, François, *Œuvres Complètes, publiées d'après son ordre et sous la direction de M. J.-A. Barral*, Gide, Paris, 1854-1862, p.I-XXVII.

LEVITT, Theresa, « Biot's paper and Arago's plates. Photographic practice and the transparency of representation », *Isis*, 94, 2003, p.456-476.

SARDA, François, *Les Arago, François et les autres*, Tallandier, Paris, 2002.

ARAGO, François, *Œuvres Complètes, publiées d'après son ordre et sous la direction de M. J.-A. Barral*, Gide, Paris, 1854-1862.

ARAGO, François, *Astronomie Populaire. Nouvelle édition mise au courant des progrès des sciences par M. J.-A. Barral*, Paris, 1864-1867.

Lucien d'Azambuja

MARTRES, Marie-Josèphe, «Lucien d'Azambuja», *Astronomical Society of the Pacific Conference Services*, vol.150, 1998, p.3-10.

ROSCH, Jean, « Lucien d'Azambuja (1884-1970) », *Solar Physics*, vol.15, 1970, p.261-264.

« Lucien d'Azambuja », MARTRES, Marie-Josèphe, in « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004, p.12-15.

« Madame d'Azambuja », MARTRES, Marie-Josèphe, in « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004, p.16-17.

D'AZAMBUJA, Lucien, «L'œuvre de Bernard Lyot», *L'Astronomie*, 1952, p.265-277.

D'AZAMBUJA, Lucien, «L'étude de l'atmosphère solaire au spectrohéliographe», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 1932, t.43, p.563-578.

Jacques Babinet

FLAMMARION, Camille, *Mémoires Biographiques et philosophiques d'un astronome*,1912, p.178-180.

CHABOT, Hugues, « Jacques Babinet. Un savant vulgarisateur », in *Aventures scientfiques. Savants en Poitou-Charentes du XVI^e^ au XX^e^ siècle*, DHOMBRES, Jean (dir.), Poitiers, Les éditions de l'Actualité Poitou-Charentes, 1995, p.16-29.

Fernand Baldet

« Fernand Baldet », *Irish Astronomical Journal*, vol.9, 12/1969, p.166.

Aymar de la Baume Pluvinel

« Aymar de la Baume Pluvinel », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol.99, 1939, p.298-299.

Henri Bénard

BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1261-1271 et p.1309-1328.

BENARD, Henri, « Sur les tourbillons cellulaires », *Annales de Chimie et de Physique*, t.24, 1911, p.563-565.

BENARD, Henri, «Sur la formation des cirques lunaires, d'après les expériences de C. Dauzère.», *CRAS*, t.154, 1912, p.260-263.

Jean Bosler

FEHRENBACH, Charles, « Jean Bosler (1878-1973) «, *L'Astronomie*, 1975, p.220-221.

GEORGELIN, Yvon, « Jean Bosler, les cratères lunaires, et la raie rouge du ‘coronium’ », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l’Université de Provence, 2002, p.70-91.

POGO, A., « Reviews. *Astrophysique* . By Jean Bosler », *The Astrophysical Journal*, vol.69,1969, p.242.

BOSLER, Jean, « Sur le spectre de la comète Daniel 1907 d », *CRAS*, t.145, 1907, p.686-687.

BOSLER, Jean, « Sur le nombre des corpuscules dans l’atome », *CRAS*, t.146, 1908, p.582-583.

BOSLER, Jean, « Complément et résumé des observations faites à Meudon sur la comète Morehouse», *CRAS*, t.148, 1909, p.805-812.

BOSLER, Jean, « Sur les variations d’éclat de la comète Encke et la période des taches solaires », *CRAS*, t.148, 1909, p.1738-1740.

BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Paris, Doin et Fils Editeurs, 1910

BOSLER, Jean, «Les récents progrès des méthodes astrophysiques aux Etats-Unis», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.22, 1911, p.102-113.

BOSLER, Jean, « Sur le spectre de la comète de Brooks », *CRAS*, t.154, 1911, p.756-757.

BOSLER, Jean, IDRAC, Pierre, « Sur le spectre de l’étoile nouvelle des gémeaux », *CRAS*, t.154, 1912, p.961-962.

BOSLER, Jean, *Sur les relations des orages magnétiques et des phénomènes solaires*, thèse présentée à la faculté de Paris en 1912, Gauthier-Villars, Paris, 1912.

BOSLER, Jean, « Sur le spectre de la comète Metcalf 1913 b », *CRAS*, t.157, 1913, p.539.

BOSLER, Jean, BLOCK, H., « Observations de l’éclipse de Soleil du 21 août 1914, faites à Strömsund (Suède), par la mission de l’Observatoire de Meudon », *CRAS*, t.159, 1914, p.766-769.

BOSLER, Jean, « Sur la région rouge du spectre des étoiles de Wolf-Rayet », *CRAS*, t.160, 1915, p.124-128.

BOSLER, Jean, « Les étoiles nouvelles », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.29, 1918, p.629-638.

BOSLER, Jean, «Sir Norman Lockyer», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, n°19, 1920, p.605-607.

BOSLER, Jean, *L'Evolution des Etoiles*, Paris, Libraire scientifique Albert Blanchard, 1923.

BOSLER, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Paris, Librairie scientifique Hermann et Cie, 1928.

BOSLER, Jean, « Un Tour d'Asie, de Marseille à Moscou, par Saïgon, Pékin et Tokio », *Bulletin de la Société de Géographie et d'Etudes Coloniales de Marseille*, 1930, t.51, p.36-56.

BOSLER, Jean, «Pierre Salet (1875-1936)», *L'Astronomie*, 1937, p.459-462.

BOSLER, Jean, «Odette Jasse (1899-1949)», *Journal des Observateurs*, vol.23, n°3, mars 1949, p. 33-34.

Vital Burson

ESCLANGON, Ernest, « Vital Burson», *L'Astronomie*, 1933, p.192-194.

BURSON, Vital, « Sur le spectre de *Nova Cygni* », *CRAS*, t.171, 1920, p.469-471.

BURSON, Vital, « Sur une protubérance à grande vitesse radiale», *CRAS*, t.171, 1920, p.570-.

Jean Cabannes

DUFAY, Jean, « Jean Cabannes (1885-1959) », *Annales d'Astrophysique*, 23e année, n°4, juillet-août 1960, p.499-503.

Alfred Cornu

«Liste Chronologique des Titres d'Alfred Cornu», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, X-III-b 56.

AMES, J.S., «Marie-Alfred Cornu», *The Astrophysical Journal*, vol.15, 1902, p.298-301.

DEROME, J., «La lunette zénitho-nadirale de M. Cornu», *La Nature*, 1900, 2ème semestre, 117-118.

Discours prononcés aux funérailles de M. Alfred Cornu, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, Discours de MM. Mascart, le Général Bassot, le Général de Batisse, Mercadier, Poincaré.

GUILLAUME, Ch.-Ed., «Alfred Cornu», *La Nature*, 1902, 30e année, 1er semestre, p.319-320.

LAUNAY, Louis de , «Souvenirs intimes», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu.

« Obituary Notices : CORNU, Alfred », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1903, p.201

POINCARE, H., «Alfred Cornu. Notice par M. Poincaré», *Archives de l'Ecole Polytechnique*, dossier Cornu.

RAVEAU, C., «La vie et l'œuvre de A. Cornu», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.14, 1902, p.1023-1040.

VERON , Philippe, « L'Equatorial de la Tour de l'Est de l'Observatoire de Paris », http://www.obs-hp.fr/www/preprints/pp158/pp158.pdf

OBRECHT, Albert, « Observation photométrique d'une éclipse du premier satellite de Jupiter », *CRAS*, t.97, 1883, p.1128-1130.

OBRECHT, Albert, « Etude sur les satellites de Jupiter », *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.18, 1885, H1-H100.

CORNU, Alfred, « Sur le renversement des raies spectrales des vapeurs métalliques », *CRAS*, 72, 1871, p.332-337.

CORNU, Alfred, « Sur la Constitution physique du soleil », *AFAS*, 9 septembre 1872, p1249-1264.

CORNU, Alfred, « Sur la photographie du spectre ultra-violet », *AFAS*, 1872, CR, I, p.300-301.

CORNU, Alfred, « Sur la transformation de l'achromatisme optique des objectifs en achromatisme chimique », *AFAS*, 22 août 1873, CR, II, p.198-204.

CORNU, Alfred, « Sur le spectre normal du Soleil, partie ultraviolette », *Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t.3, 1874, p.421-434.

CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *CRAS*, t.79, 1874, p.1361-1365.

CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de la lumière», *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.182-186.

CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière, d'après des expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Monthléry », *Mémoire de l'Observatoire de Paris*, A1-A316, 1876.

CORNU, Alfred, « Sur le spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne », *CRAS*, 83, 1876, p.1172-1174.

CORNU, Alfred, « Etudes de photographie astronomique », *CRAS*, t.83, 1876, p.43-45.

CORNU, Alfred, « Sur l'achromatisme photographique des objectifs», *AFAS*, 21 août 1876, p.232-233.

CORNU, Alfred, « Etude du spectre solaire ultra-violet», *CRAS*, t.86, 1878, p.101-104.

CORNU, Alfred, « Sur les raies sombres du spectre solaire et la constitution du Soleil», *CRAS*, t.86, 1878, p.315-321.

CORNU, Alfred, « Sur quelques conséquences de la constitution du spectre solaire», *CRAS*, t.86, 1878, p.530-533.

CORNU, Alfred, « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire», *CRAS*, t.88, 1879, p.1101-1108.

CORNU, Alfred, « Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes», *CRAS*, t.88, 1879, p.1285-1290.

CORNU, Alfred, « Observation de la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes», *CRAS*, t.79, 1879, p.808-814.

CORNU, Alfred, « Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance absorbant dans l'atmosphère les radiations solaires ultra-violettes», *CRAS*, t.90, 1880, p.940-946.

CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de propagation de la lumière », *CRAS*, t.91, 1880, p.1019-1023.

CORNU, Alfred, « Etudes photométriques », *La Lumière Electrique*, vol.5, 1881, p.221-224 et 232-234.

CORNU, Alfred, « Sur la proportion de lumière polarisée par réflexion sur les corps d'indice voisin de l'unité. Application à l'illumination des corps transparents », *AFAS*, vol.11, 1882, p.221-223.

CORNU, Alfred, « Sur un nouveau polarimètre », *AFAS*, vol.11, 1882, p.253-255.

CORNU, Alfred, « Sur la possibilité d'accroître dans une grande proportion la précision des observations des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, t.96, 1883, p.1609-1615.

CORNU, Alfred, OBRECHT, Alfred, « Etudes expérimentales relatives à l'observation photométrique des éclipses des satellites de Jupiter «, *CRAS*, t.96, 1883, p.1815-1821.

CORNU, Alfred, « Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultra-violets et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients», *AFAS*, 8 septembre 1884, p.103-112.

CORNU, Alfred, « Sur les raies spectrales spontanément renversables et l'analogie de leurs lois de répartition et d'intensité avec celles des raies de l'hydrogène », *CRAS*, t.100, 1885, p.1181-1188.

CORNU, Alfred, «Etude des raies telluriques α, B et A du spectre solaire», *Annales de Chimie et de Physique*, 1886, 6ème série, t.7, p.5-102.

CORNU, Alfred, « Sur la limite ultra-violette du spectre solaire, d'après des clichés obtenus par M. le Dr Simony au sommet du pic de Teneriffe», *CRAS*, t.111, 1890, p.941-947.

CORNU, Alfred, «Le rôle de la physique dans les récents progrès des sciences», *AFAS*, 1890, CR I, p.123-132.

CORNU, Alfred, «Sur l'application du photopolarimètre à la météorologie «, *AFAS*, 1890, CR I, p.267-270.

CORNU, Alfred, «Sur la méthode Doppler-Fizeau», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1891, p.D1-D40.

CORNU, Alfred, « La Photographie céleste », Conférence du 17 janvier 1892, *Annales du CNAM*, 2ème série, t.4, 1892, p.263-288.

CORNU, Alfred, « Sur diverses méthodes relatives à l'observation des propriétés appelées anomalies focales des réseaux diffringents », *CRAS*, t.116, 1893, p.1215-1222.

CORNU, Alfred, « Quelques mots de réponse à « La déroute de l'atomisme contemporain » », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.6, 1895, p.1030-1031.

CORNU, Alfred, «L'œuvre astrophysique de Fizeau», *L'Astronomie*, 1897, p.457-461.

CORNU, Alfred, « Notice sur l'œuvre scientifique de H. Fizeau », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1898, p.C1-C40.

CORNU, Alfred, «La photographie des spectres d'étoiles», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1899, p.377-382.

CORNU, Alfred, «Congrès International de Physique. Discours d'ouverture», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.919-920.

CORNU, Alfred, « Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman «, *CRAS*, t.125, 1897, p.555-561.

CORNU, Alfred, « Sur quelques nouveaux résultats relatifs au phénomène découvert par M. le Dr Zeeman «, *CRAS*, 126, 1898, p.181-186.

CORNU, Alfred, «Le jubilé de Sir G. Stokes. Le Centenaire de l'Institution Royale», *La Nature*, 1899, 2ème semestre, p.54.

CORNU, Alfred, « La théorie des ondes lumineuses : son influence sur la physique moderne », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.10, 1899, p.541-548.

CORNU, Alfred, *Cours de Physique*, 1ère division, 1874-1875, 1901-1902.

CORNU, Alfred, « On the law of diurnal rotation of the optical field of the siderostat and the heliostat », *The Astrophysical Journal*, vol.11, 1900, p.148-162.

CORNU, Alfred, «The atmospheric absorption of the visible rays, determined from the spectroscopic observations of the Eiffel Tower electric lights in 1889.», *The Astrophysical Journal*, vol.13, 1901, p.142-148.

Henri Deslandres

d'AZAMBUJA, Lucien, « Henri Deslandres», *L'Astronomie*, 1948, p.179-184.

DOLLFUS, Audoin, « Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche», *L'Astronomie*, février et mars-avril 2003, p.68-74 et p.148-153, mars-avril 2005, p.150-159

BOSLER, Jean, «Henri-Alexandre DESLANDRES», *Bulletin de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique «AX»* «, Paris, Gauthier-Villars, n°11, septembre 1948, p.68-72.

CAMPBELL, William, CURTIS, Heber, « First catalog of spectroscopic binaries », *Lick Observatory Bulletin*, n°79, 1905, p.136-146.

DANJON, André, « Allocution prononcée lors de la séance du 25 janvier 1948 », *L'Astronomie*, mars 1948, p.79.

DYSON, F.W., « Society business : Gold Medal of the Society, awarded to M. Henri Alexandre Deslandres, for his investigations of solar phenomena and other spectroscopic work », Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol.73, 02/1913, p.317-329

ESPITALLIER, G., « La vitesse des étoiles et les études spectrales de M. Deslandres », *La Nature*, 1893, 21e année, 1er semestre, p.275-278.

HALE, George Ellery, « Reply to recent statements by M. Deslandres », *The Astrophysical Journal*, vol.23, 1906, p.92-93.

LYOT, Bernard, *Funérailles de Henri Deslandres*, Hendaye, Imprimerie de l'Observatoire de Paris, 1948.

MICHARD, R., « DESLANDRES, Henri », *Dictionnary of Scientific Biography*, New-York, Ed. Charles Scribner's son, Charles Gillipsie, (ed.), vol.4, 1971, p.68-70.

MOORE, J.H., «Address of the retiring President of the Society in awarding the Bruce Gold Medal to M. Henri Alexandre Deslandres», *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.23, n°192, avril 1921.

STRATTON, F.J.M, «Henri Alexandre Deslandres», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol.109, 1949, p.141-144.

SWEETNAM, George, « Henri Rowland, the concave diffraction grating, and the analysis of light », in *The Values of Precision*, WISE, Norton (dir.), Princeton University Press, 1995, p.283-310.

DESLANDRES, Henri, «Spectres des bandes ultra-violets des métalloïdes avec une faible dispersion», *Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris*, Gauthier-Villars et Fils, 1888, reproduite dans *Annales de Chimie et de Physique*, 1888, t.15, p.5-86.

DESLANDRES, Henri, « Histoire des idées et des recherches sur le Soleil », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1907, pp. C1-C146.

DESLANDRES, Henri, « Partie basse de l'atmosphère solaire. Photographies nouvelles », *Annales du CNAM*, 3ème série, t.1, 1899.

DESLANDRES, Henri, « Usage des spectres d'absorption dans la recherche du corps résultant de l'action de l'ozone sur la paraffine», *AFAS*, 8 septembre 1874, p.131-132.

DESLANDRES, Henri, «Méthode pour obtenir les variations de vitesse radiale des astres avec de faibles instruments», *Astronomische Nachriten*, 139, 1896, p.243-244

DESLANDRES, Henri, «Relations entre le spectre solaire ultra-violet de la vapeur d'eau et les bandes telluriques A,B, α du spectre solaire», *CRAS*, t.100, 1885, p.854-857.

DESLANDRES, Henri, «Spectre de bandes de l'azote ; son origine», *CRAS*, t.101, 1885, p.1256-1260.

DESLANDRES, Henri, «Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes.», *CRAS*, t.103, 1886, p.375-379.

DESLANDRES, Henri, «Loi de répartition des raies et des bandes, commune à plusieurs spectres de bandes. Analogie avec la loi de succession des sons d'un corps solide.», *CRAS*, t.104, 1887, p.972-976.

DESLANDRES, Henri, «Détermination, en longueurs d'onde, de deux raies rouges du potassium», *CRAS*, t.106, 1888, p.739.

DESLANDRES, Henri, «Spectre de bandes ultra-violet des composés hydrogénés et oxygénés du carbone», *CRAS*, t.106, 1888, p.842.

DESLANDRES, Henri, «Propriété fondamentale commune aux deux classes de spectres. Caractères distinctifs de chacune des classes. Variations périodiques à trois paramètres.», *CRAS*, t.110, 1890, p.748.

DESLANDRES, Henri, «Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris.», *CRAS*, t.111, 1890, p.562-564.

DESLANDRES, Henri, «Sur le spectre de α Lyre», *CRAS*, t.112, 1890, p.413-414.

DESLANDRES, Henri, «Méthode nouvelle pour la recherche des bandes faibles dans les spectres de bandes. Application au spectre des hydrocarbures.», *CRAS*, t.112, 1891, p.661-663.

DESLANDRES, Henri, «Recherches sur le mouvement radial des astres avec le sidérostat de l'Observatoire de Paris», *CRAS*, t.113, 1891, p.737-739.

DESLANDRES, Henri, «Recherches nouvelles sur l'atmosphère solaire», *CRAS*, t.113, 1891, p.307-310.

DESLANDRES, Henri, «Recherches nouvelles sur l'atmosphère solaire», *CRAS*, t.114, 1892, p.276-277.

DESLANDRES, Henri, «Sur une protubérance remarquable», *CRAS*, t.114, 1892, p.578-580.

DESLANDRES, Henri, «Résultats nouveaux sur l'hydrogène obtenus par l'étude spectrale du Soleil. Rapprochements avec l'étoile nouvelle du Cocher», *CRAS*, t.115, 1892, p.222-225.

DESLANDRES, Henri, «Transformation du grand télescope de l'Observatoire de Paris, pour l'étude des vitesses radiales des astres», *CRAS*, t.115, 1892, p.783-786.

DESLANDRES, Henri, «Contribution à la recherche de la couronne solaire en dehors des éclipses totales», *CRAS*, t.116, 1892, p.126-128.

DESLANDRES, Henri, «Sur la recherche de la couronne solaire en dehors des éclipses totales», *CRAS*, t.116, 1893, p.1184-1187.

DESLANDRES, Henri, «Sur les propriétés des facules «, *CRAS*, t.116, 1893, p.238-240.

DESLANDRES, Henri, «Sur l'observation de l'éclipse totale de Soleil du 16 avril faite à Foundiougue (Sénégal) «, *CRAS*, t.116, 1893, p.1108-1110.

DESLANDRES, Henri, « Observations de l’eclipse totale du soleil du 16 avril 1893. Rapport de la mission envoyée au Sénégal par le Bureau des Longitudes pour l’étude physique du phénomène », *Annales du Bureau des Longitudes*, t.5, 1897, p.C1-C74.

DESLANDRES, Henri, «Sur l'enregistrement des éléments variables du Soleil «, *CRAS*, t.117, 1893, p.716-719.

DESLANDRES, Henri, «Sur la recherche de la partie de l'atmosphère coronale du Soleil projetée sur le disque «, *CRAS*, t.117, 1893, p.1053-1056.

DESLANDRES, Henri, «Sur la photographie de la chromosphère du Soleil «, *CRAS*, t.118, 1894, p.842-844.

DESLANDRES, Henri, «Sur la chromosphère du Soleil. Réponse à la dernière note de M. Hale «, *CRAS*, t.118, 1894, p.1312-1314.

DESLANDRES, Henri, «Images spéciales du Soleil données par les rayons simples, qui correspondent aux raies noires du spectre solaire», *CRAS*, t.119, 1894, p.148-151.

DESLANDRES, Henri, «Recherche sur les mouvements de l'atmosphère solaire», *CRAS*, t.119, 1894, p.457-460.

DESLANDRES, Henri, «Recherches spectrales sur la rotation et les mouvements des planètes», *CRAS*, t.120, 1895, p.417-420.

DESLANDRES, Henri, «Recherches sur les anneaux de Saturne», *CRAS*, t.120, 1895, p.1155-1158.

DESLANDRES, Henri, «Méthode pour étudier les vitesses radiales des astres avec de faibles instruments», *Astronomische Nachriten*, 139, 1894, p.241-244.

DESLANDRES, Henri, «Observations de l'éclipse totale du 9 août 1896, dans l'île japonaise de Yéso» «, *CRAS*, t.123, 1896, p.978-981.

DESLANDRES, Henri, « Photographies d'une protubérance extraordinaire», *CRAS*, t.124, 1897, p.171-173.

DESLANDRES, Henri, « Action mutuelle des électrodes et des rayons cathodiques dans les gaz raréfiés», *CRAS*, t.124, 1897, p.678-681.

DESLANDRES, Henri, « Propriétés nouvelles des rayons cathodiques qui décèle leur composition complexe», *CRAS*, t.124, 1897, p.945-949

DESLANDRES, Henri, « Propriétés des rayons cathodiques simples. Relation avec les oscillations électriques», *CRAS*, t.124, 1897, p.1297-1300

DESLANDRES, Henri, « Recherches sur les rayons cathodiques simples.», *CRAS*, t.125, 1897, p.373-375.

DESLANDRES, Henri, «Nouvelle série de photographies de la chromosphère entière du Soleil», *CRAS*, t.126, 1898, p.879-882.

DESLANDRES, Henri, MOISSAN, Henri, «Recherches spectrales sur l'air atmosphérique», *CRAS*, t.126, 1898, p.1689-1691.

DESLANDRES, Henri, BECQUEREL, Henri, «Contribution à l'étude de l'effet Zeeman», *CRAS*, t.126, 1898, p.997-1001.

DESLANDRES, Henri, BECQUEREL, Henri, « Observations nouvelles sur le phénomène de Zeeman », *CRAS*, t.127, 1898, p.18-24.

DESLANDRES, Henri, «Explication de plusieurs phénomènes célestes par les rayons cathodiques «, *CRAS*, t.126, 1898, p.1323-1326.

DESLANDRES, Henri, «Remarques sur les rayons cathodiques simples», *CRAS*, t.127, 1898, p.1210-1215.

DESLANDRES, Henri, « Causes d'erreurs dans la recherche des vitesses radiales des astres. Importance de l'erreur due aux variations de température. Méthodes de correction. », *Bulletin Astronomique*, 15, 1898, p.49-70.

DESLANDRES, Henri, «Remarques sur les méthodes employées dans la Recherche des Vitesses radiales des Astres «, *Astronomische Nachriten*, 148, 1898, p.23-28. Reproduit dans *Astrophysical Journal*, vol.9, 1899, p.167.

VOGEL, H.C., « Sources of error in investigations on the motion of stars in the line of sight. », *Astronomische Nachriten*, n°3483, mars 1898, reproduit dans *Astrophysical Journal*, vol.7, avril 1898, p.249-254.

DESLANDRES, Henri, «Organisation de l'enregistrement quotidien de la Chromosphère entière du Soleil à l'observatoire de Meudon. Premiers résultats», *CRAS*, t.129, 1899, p.1222-1225.

DESLANDRES, Henri, « Variations rapides de la vitesse radiale de l'étoile δ Orion », *CRAS*, t.130, 1900, p.379-382.

DESLANDRES, Henri, « Observations de l'étoile nouvelle de Persée », *CRAS*, t.132, 1901, p.535-538.

DESLANDRES, Henri, « Détails complémentaires sur la nouvelle étoile nouvelle de Persée », *CRAS*, t.132, 1901, p.619-621.

DESLANDRES, Henri, « Troisième série d'observations de la nouvelle étoile nouvelle de Persée », *CRAS*, t.132, 1901, p.1542-1544.

DESLANDRES, Henri, « Comparaison entre l'observation photographique et l'observation oculaire », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, mai 1901, p.144-153 ; juin 1901, p.167-172.

DESLANDRES, Henri, « Spectres de Nova Persei », *Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, avril 1901, p.119.

DESLANDRES, Henri, « Instructions sur l'observation du Soleil par la Commission solaire », *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.408-420.

DESLANDRES, Henri, « Sur les spectres de bande de l'azote «, *CRAS*, t.134, 1902, p.747-750.

DESLANDRES, Henri, « Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil. Applications aux nébuleuses. », *CRAS*, t.134, 1902, p.1134-1136.

DESLANDRES, Henri, «Extension de l'hypothèse cathodique aux nébuleuses», *CRAS*, t.134, 1902, p.1486-1489.

DESLANDRES, Henri, DECOMBE, Louis, «Sur la recherche d'un rayonnement hertzien émané du Soleil», *CRAS*, t.134, 1902, p.527-530.

DESLANDRES, Henri, «Instructions sur l'observation du Soleil», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.408-420.

DESLANDRES, Henri, « Résultats principaux obtenus en 1902 sur les vitesses radiales des étoiles. Causes d'erreur spéciales à ces recherches », *CRAS*, t.136, 1903, p.204-211.

DESLANDRES, Henri, « Loi générale de distribution des raies dans les spectres de bandes. Vérification précise avec le deuxième groupe de bandes de l'azote. », *CRAS*, t.138, 1904, p.317-323.

DESLANDRES, Henri, «Explication simple de plusieurs phénomènes célestes et terrestres par les rayons cathodiques et les files de particules électrisées», *Les quantités élémentaires d'électricité : ions électrons, corpuscules,Mémoires réunis et publiés par Henri Abraham et Paul Langevin*, Paris, Gauthier-Villars, 1905.

DESLANDRES, Henri, « Note préliminaire sur l'observation de l'éclipse totale du Soleil du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.517-519.

DESLANDRES, Henri, « Sur quelques détails du spectrohéliographe », *CRAS*, t.144, 1907, p.541-546.

DESLANDRES, Henri, «Grands alignements et tourbillons de l'atmosphère solaire», *CRAS*, t.147, 1908, p.467-474.

DESLANDRES, Henri, « Caractères de la couche supérieure de l'atmosphère gazeuse du Soleil », *CRAS*, t.147, 1908, p.1016-1023.

DESLANDRES, Henri, « Recherches sur la rotation et l'éclat des diverses couches atmosphériques du Soleil », *CRAS*, t.146, 1908, p.1235-1241.

DESLANDRES, Henri, «Mouvements de l'atmosphère solaire supérieure au-dessus et autour des facules. Tourbillons cellulaires du Soleil», *CRAS*, t.149, 1909, p.493-499.

DESLANDRES, Henri, « Sur le sens précis de mots anciens et sur le choix de mots nouveaux », *Papers communicated to the Second Conference, held at Oxford, Sept. 1905. Transaction of the International Union for Cooperation in Solar Research*, vol.1, 1906, p.193-196.

DESLANDRES, Henri, « Remarques sur l'état actuel des Recherches Solaires et sur les moyens de les améliorer », *Papers communicated to the Second Conference, held at Oxford,*

Sept. 1905. Transaction of the International Union for Cooperation in Solar Research, vol.1, 1906, p.184-193.

DESLANDRES, Henri, « Enregistrement de la surface et de l'atmosphère solaires à l'observatoire de Meudon », *Papers communicated to the Third Conference, held at Meudon, Mai 1907. Transaction of the International Union for Cooperation in Solar Research*, vol.2, 1908, p.232-244.

DESLANDRES, Henri, *Annales de l'Observatoire d'Astronomie Physique de Paris, sis Parc de Meudon, Seine-et-Oise, tome IV*, Paris, Gauthier-Villars, 1910.

DESLANDRES, Henri, « Lois relatives aux mouvements des protubérances solaires », *CRAS*, t.152, 1911, p.1281-1284.

DESLANDRES, Henri, « Remarques complémentaires sur les champs magnétiques faibles de l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.152, 1911, p.1541-1544.

DESLANDRES, Henri, « Explication simple des protubérances solaires et d'autres phénomènes par des champs magnétiques très faibles », *CRAS*, t.152, 1911, p.1433-1439.

DESLANDRES, Henri, « Recherches sur les mouvements des couches atmosphériques solaires par le déplacement des raies spectrales. Dissymétrie et particularités du phénomène », *CRAS*, t.152, 1911, p.233-239.

DESLANDRES, Henri, « Champ magnétique général des couches supérieures de l'atmosphère solaire. Vérifications nouvelles. », *CRAS*, t.152, 1911, p.1573-1581.

DESLANDRES, Henri, « Remarques sur les mouvements des protubérances solaires », *CRAS*, t.153, 1911, p.221-225.

DESLANDRES, Henri, « Action du champ magnétique sur le spectre de bandes ultraviolet de la vapeur d'eau. Propriété nouvelle des séries régulières de raies qui forment la bande. », *CRAS*, t.153, 1911, p.814-820.

DESLANDRES, Henri, «Ionisation des gaz solaires. Relations entre le rayonnement et la rotation des corps célestes», *CRAS*, t.153, 1911, p.10-15.

DESLANDRES, Henri, « Remarques sur les champs généraux, magnétique et électrique, du Soleil», *CRAS*, t.157, 1913, p.517-524.

DESLANDRES, Henri, PEROT, Alfred, « Contribution à la réalisation de champs magnétiques élevés. », *CRAS*, t.158, 1914, p.226.

DESLANDRES, Henri, PEROT, Alfred, « Projet d'un électro-aimant susceptible de donner un champ magnétique de 100 000 gauss », *CRAS*, t.158, 1914, p.658.

DESLANDRES, Henri, PEROT, Alfred, « Deuxième série d'essais pour l'accroissement deschamps magnétiques actuels. Emploi de l'eau avec le nouveau mode de refroidissement.», *CRAS*, t.159, 1914, p.438-448.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Paris, Gauthier-Villars, 1914.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Paris, Gauthier-Villars, 1921.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, S.I., 1926.

DESLANDRES, Henri, *Sur l'amélioration des études astronomiques en France*, Orléans, Imp. H. Tessier, 1926.

Jean Dufay

BATES, D.R., « Jean Dufay », *Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society*, vol.9, 1968, p.439-441.

Nicolas Egoroff

EGOROFF, N. , « Recherches sur les raies telluriques du spectre solaire », *CRAS*, t.93, 1881, p.385-387.

EGOROFF, N., « Recherches sur le spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre », *CRAS*, t.93, 1881, p.788-790 et t.95, 1882, p.447-449.

EGOROFF, N., « Sur la production des groupes telluriques fondamentaux A et B du spectre solaire par une couche absorbante d'oxygène, *CRAS*, t.97, 1883, p.555-557.

Charles Fabry

CHALONGE, Daniel, «Charles Fabry (1867-1945)», *L'Astronomie*, 1947, p.244-246.

DE BROGLIE, Louis, *Savants et découvertes*, Paris, Albin Michel, 1951, p.203-232.

SRATTON, F.J.M., « Charles Fabry », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol.106, p.42-43.

FABRY, C., PEROT, A., « Mesures de longueurs d'onde en valeur absolue, spectre solaire et spectre du fer », *Annales de Chimie et de Physique*, 7ème série, t.25, 1902, p.98-139.

FABRY, Charles, « Sur une solution pratique du problème de la photométrie hétérochrome », *CRAS*, t.137, 1903, reproduit in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.412-427.

FABRY, C., PEROT, A., « Meausures of absolute wave-lengths in the solar spectrum and in the spectrum of iron », *Astrophysical Journal*, 15, 1902, p.73-96.

FABRY, Charles, « Sur l'intensité lumineuse de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.870-873.

FABRY, Charles, « Sur l'éclat intrinsèque de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 30 août 1905 », *CRAS*, t.141, 1905, p.940-942.

FABRY, Charles, « Sur la polarisation par réfraction et la propagation de la lumière dans un milieu non homogène. », *CRAS*, t.145, 1907, p.112-115.

« Fonds Bonaparte », *CRAS*, t.146, 1908, p.1434.

FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Comparaison des raies du spectre de l'arc électrique et du Soleil. Pression de la couche renversante de l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.148, 1909, p.688-690.

FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Sur l'élargissement dissymétrique des raies du spectre de l'arc et leur comparaison avec celles du spectre solaire. », *CRAS*, t.148, 1909, p.1240-1241.

FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Dispositif pour la mesure des très petits déplacements des raies spectrales. », *CRAS*, t.148, 1909, p.828-830.

FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Comparaison des spectres du centre et du bord du Soleil », *CRAS*, t.148, 1909, p.1741-1744.

FABRY, Charles, BUISSON, Henri, « Application of the interference method to the study of nebulae », *The Astrophysical Journal*, vol.33, 1911, p.406-409.

FABRY, Charles, « La photométrie hétérochrome », *Rapport présenté à la Commission Internationale de l'Eclairage à Paris en juillet 1921*, reproduit in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.431-452.

FABRY, Charles, *Les Applications des interférences lumineuses*, Paris, Editions de la Revue d'Optique théorique et instrumentale, 1923.

FABRY, Charles, « Les principes de la Photométrie en Astronomie et en Physique », in FABRY, Ch., VILLAT, H., VILLEY, J.(dir.), *Mémorial des Sciences Physiques*, Gauthier-Villars, Paris, 1934.

FABRY, Charles, *Physique et Astrophysique*, Paris, Flammarion, 1935.

FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Paris, Gauthier-Villars, 1938.

BARBIER, Daniel, CHALONGE, Daniel, *De la stratosphère à l'ionosphère*, Paris, PUF, 1942.

Hervé Faye

« Obituary Notices FAYE, Hervé », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1903, p.204.

DE PARVILLE, Henri, « Hervé Faye », *La Nature*, 1902, 30e année, 2ème semestre, p.95-96.

NORDMANN, Charles, «Hervé Faye», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.897-898.

POINCARE, Henri, «La vie et les travaux de Hervé Faye», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1902, p.496-501.

FAYE, Hervé, « Sur les observations du Soleil », *CRAS*, t.28, 1849, p.241-244.

FAYE, Hervé, « Sur les éclipses centrales de l'année prochaine », *CRAS*, t.45, 1857, p.982-988.

FAYE, Hervé, « Sur l'atmosphère du soleil », *CRAS*, t.49, 1859, p.696-705.

FAYE, Hervé, « Spectre de l'auréole des éclipses totales ; suggestion relative à l'observation de l'éclipse de Soleil du 31 décembre prochain », *CRAS*, t.53, 1861, p.679-683.

FAYE, Hervé, « Sur un essai de reproduction artificielle d'un minéral cosmique », *CRAS*, t.57, 1863, p.801-805.

FAYE, Hervé, « Sur la constitution physique du Soleil », *CRAS*, t.60, 1865, p.89-96 et p.138-150.

FAYE, Hervé, « Sur les étoiles nouvelles et sur les étoiles variables », *CRAS*, t.63, 1866, p.196-201 et p.229-234.

FAYE, Hervé, « Sur quelques objections relatives à la constitution physique du Soleil », *CRAS*, t.63, 1866, p.234-237.

FAYE, Hervé, « Le prochain passage de Vénus sur le soleil », *AFAS*, Conférence du 22 aout 1874, p.1239-1255.

FAYE, Hervé, *Sur l'origine du monde. Théories cosmogoniques des Anciens et des Modernes*, Gauthier-Villars, Paris, 1884.

Charles Féry

FERY, Charles, « Les lois du rayonnement et leur application correcte », *Annales de Chimie et de Physique*, 8ème série, t.17, 1909, p.267-289.

FERY, Charles, « Note on the Solar Constant and the Apparent Temperature of the Sun », *MNRAS*, vol.69, 1909, p.611-614.

Hippolyte Fizeau

« Armand Hippolyte Louis Fizeau », *Astrophysical Journal*, vol.4, 1896, p.367-368.

CHEVALIER, Gérard, TOBIN, William, « Le grand art des pièges à lumière », in « Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.50-67.

FIGUERAS, Emmanuel, « Un photographe physicien », in « Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.12-16.

FIZEAU, Hippolyte, FOUCAULT, Léon, « Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série, t.11, 1844, p.370-383.

FIZEAU, Hippolyte, « Note sur la lumière émise par le sodium brûlant dans l'air », *CRAS*, t.62, 1854, p.493-495.

FIZEAU, Hippolyte, « Des effets du mouvement sur le ton des vibrations sonores et sur la longueur d'onde des rayons de lumière », *Annales de Chimie et de Physique*, 4ème série, t.19, 1870, p.211-221.

« Prix Bordin. Question proposée en 1865 pour 1867 », *CRAS*, t.66, 1868, p.932-934.

Camille Flammarion

FLAMMARION, Camille, « Sur la comparaison des résultats de l'observation astronomique directe avec ceux de la photographie », *CRAS*, t.102, 1886, p.911-914.

Léon Foucault

FRAISSINET, A., «Le sidérostat de L. Foucault», *La Nature*, 1874, 2ème semestre, p.395-398.

«Modification du sidérostat de Foucault», *La Nature*, 1895, 1er semestre, p.399.

LIPPMANN, Gabriel, «Sur un coelostat, ou appareil à miroir donnant une image du Ciel immobile par rapport à la Terre», *CRAS*, t.121, 1895, p.1015-1019.

CORNU, Alfred, «Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat», *CRAS*, t.130, 1900, p.537-544 et *Astrophysical Journal*, 11, p.148-162.

MARILLIER, Agnes, « Un amateur à l'académie », in « Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.6-11.

CHEVALIER, Gérard, TOBIN, William, « Le grand art des pièges à lumière », in « Comment on réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995, p.50-67.

TOBIN, William, *Léon Foucault*, EDP Sciences, 2002.

http://www.obspm.fr/~expositions/Foucault/fichiersPDF/page17.pdf

FIZEAU, H., FOUCAULT, L., « Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série, t.11, 1844, p.370-383.

FOUCAULT, Léon, « Note sur la lumière de l'arc voltaïque », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série, t.58, 1849, p.476-478.

Augustin Fresnel

FABRY, Charles, « La vie et l'œuvre scientifique d'Augustin Fresnel », Conférence prononcée à la Sorbonne le 27 octobre 1927, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938.

MAITTE, Bernard, « Les bricolages prometteurs d'un jeune exilé », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.60-69.

Georges Gouy

HURWIC, Anna, *Pierre Curie*, Flammarion, Paris, 1995.

GOUY, Georges, « Sur la mesure de l'intensité des raies d'absorption et des raies obscures du spectre solaire », *CRAS*, t.89, 1879, p.1033-1034.

GOUY, Georges, « Recherches photométriques sur les flammes colorées », *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t.18, 1879, p.5-101.

GOUY, Georges, « Sur la théorie de la double réfraction circulaire », *CRAS*, t.90, 1880, p.992-995.

GOUY, Georges, « Sur la théorie des phénomènes d'interférence où intervient la polarisation rotatoire », *CRAS*, t.90, 1880, p.1121-1124.

GOUY, Georges, « Sur la propagation de la lumière », *CRAS*, t.91, 1881, p.877-880.

GOUY, Georges, « Sur la vitesse de la lumière », *CRAS*, t.92, 1881, p.34-35.

GOUY, Georges, « Mesure de l'intensité de quelques raies obscures du spectre solaire », *CRAS*, t.91, 1880, p.383.

George Ellery Hale

WRIGHT, Helen, *Explorer of the Universe. A biography of George Ellery Hale*., New-York, E.P. Dutton & Co, Inc., 1966.

DUNHAM, Theodore Jr., « George Ellery Hale », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol.99, 1939, p.322-328.

ZIRIN, Harold, « George Ellery Hale 1868-1938 », *Solar Physics*, vol.5, 1968, p.435-441.

ABETTI, Giorgio, « Recollections of George Ellery Hale », *Astronomical Society of the Pacific*, vol.8, 1961, p.287-294.

BABCOCK, Harold, « George Ellery Hale », *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.50, 1938, p.156-165.

ADAMS, Walter S., « George Ellery Hale », *Astrophysical Journal*, vol.87, 1938, p.369-388.

« Critique par l'abbé MOREUX de l'ouvrage de G.-E. HALE : *The Study of stellar evolution. An account of some recent methods of astrophysical research*, Wesley and son, Londres, 1909 », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 1905, 24; t.20, p.601.

HALE, George Ellery, «Organization of the Yerkes Observatory», Yerkes Observatory, University of Chicago, 1896.

HALE, G., « Les raies H et K dans le spectre des facules solaires », *CRAS*, 1893, t.116, p.170-172.

HALE, G., « The Astrophysical Journal », *The Astrophysical Journal*, vol.1, 1895, p.80-84.

HALE, George Ellery, «Co-operation in solar Research», *The Astrophysical Journal*, vol.20, 1904, p.306-312

Maurice Hamy

HAMY, Maurice, « Sur la mesure des faibles diamètres «, *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.10, 1893, p.489-504.

HAMY, Maurice, « Contrôle des tourillons d'un instrument méridien par la méthode interférentielle de M. Fizeau», *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.12, 1895, p.49-52.

HAMY, Maurice, « On the errors caused by Variations of Temperature in Astronomical Instruments », *The Observatory*, vol.19, 1896, p.155-156.

HAMY, Maurice, « Nouvelle lampe à cadmium pour la production des franges d'interférence à grande différence de marche», *CRAS*, t.124, 1897, p.749-752.

HAMY, Maurice, « Sur le spectre du cadmium dans un tube à vide «, *CRAS*, t.126, 1898, p.231-234.

HAMY, Maurice, « Sur la mesure des petits diamètres «, *CRAS*, t.127, 1898, p.851-854.

HAMY, Maurice, « Mesure interférentielle des diamètres des satellites de Jupiter et de Vesta, effectuées au grand équatorial coudé de l'Observatoire de Paris», *CRAS*, t.128, 1899, p.583-586.

HAMY, Maurice, « Sur un appareil permettant de séparer des radiations simples très voisines », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.16, 1899, p.32-38.

HAMY, Maurice, « Sur la fixité des raies solaires «, *CRAS*, t.138, 1904, p.1156-1157.

HAMY, Maurice, « Sur le spectre du zinc «, *CRAS*, t.138, 1904, p.959-961.

HAMY, Maurice, MILLOCHAU, Gaston» Sur l'étoile nouvelle dans la constellation des Gémeaux», *CRAS*, t.154, 1912, p.793-795.

Rapport de M. Hamy sur les travaux de M. Pierre Salet, *CRAS*, t.159, 1914, p.838-840.

HAMY, Maurice, « Sur l'emploi du prisme objectif à la détermination des vitesses radiales «, *CRAS*, t.158, 1914, p.81-88.

HAMY, Maurice, « Sur l'emplacement à donner à l'Observatoire astronomique du mont Blanc «, *CRAS*, t.158, 1914, p.1236-1241.

HAMY, Maurice, « Sur la détermination des vitesses radiales «, *CRAS*, t.161, 1915, p.661-663.

HAMY, Maurice, « Sur la détermination par la méthode interférentielle des diamètres des étoiles dont l'éclat superficiel n'est pas uniforme «, *CRAS*, t.174, 1922, p.342-345.

HAMY, Maurice, « Sur une propriété des émulsions photographiques et l'enregistrement des étoiles, pendant les éclipses totales de Soleil, en vue de la vérification de l'effet Einstein.», *CRAS*, t.174, 1922, p.717-718.

HAMY, Maurice, «Le spectrographe stellaire», *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.32, 1925, p.B1-B64.

HAMY, Maurice, « On a new machine for measuring displacements on stellar spectrograms», *Astrophysical Journal*, vol.68, 1928, p.403-407.

HAMY, Michel, *Sur la vie et l'œuvre de Maurice Hamy*, document non publié.

Notice sur les travaux scientifiques de M. Maurice Hamy, Gauthier Villars, 1907.

Alexis Hansky

HANSKY, A., «Observations des étoiles filantes Les Léonides à l'observatoire de Meudon», *CRAS*, 1897, t.125, p.759.

HANSKY, A., «Histoire de la couronne solaire», *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1898, p.342-348.

William Huggins

BECKER , Barbara, « Visionary memories and the origins if astrophysics », *Journal for the History of Astronomy*, 2001, 32, p.43-62.

Alexandre de Humboldt

DETTELBACH, Michael, « Humboldtian science », in *Cultures of Natural History*, JARDINE, N., SECORD, J.A., SPARY, E.C. (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, p.287-304.

DETTELBACH, Michael, « La science omnivore d'Alexander von Humboldt », *La Recherche*, n°302, octobre 1997, p.90-95.

GAYET, Mireille, *Alexandre de Humboldt, le dernier savant universel*, Paris, Vuibert Adapt, 2006.

GODLEWSKA, Anne Marie Claire, « From Enlightenment Vision to Modern Science ? Humboldt's Visual Thinking », in LIVINGSTON, D.N., WITHERS, C.W.J. (dir.), *Geography and Enlightenment*, Chicago, University of Chicago Press, 1999, p.236-275.

HUMBOLDT, Alexander von, *Cosmos : essai d'une description physique du monde*, traduction de Hervé Faye et Charles Galuski, Paris, Gide et Baudry, 1855-1859.

HUMBOLDT, Alexandre de, « Introduction », in ARAGO, François, *Œuvres Complètes, publiées d'après son ordre et sous la direction de M. J.-A. Barral*, Gide, Paris, 1854-1862, p.I-XXVII.

Jules Janssen

AMALRIC, Pierre, « Jules Janssen (1824-1907) : from ophtalmology to astronomy », *Documenta Ophtalmologica*, 81, 1992, p.37-42.

AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field : Jules Janssen, the spectroscope, and travel. », *Nuncius*, vol.17, 2002, p.615-633.

BERTIN, Celia, *La Dernière Bonaparte*, Paris, Librairie Académique Perrin, 1982.

BIGOURDAN, Guillaume, «Jules Janssen», *Bulletin Astronomique*, n°25, 1908, pp.49-58

CHAPIN , Seymour L., « P.J.C. Janssen and the advent of the spectroscope into astronomical prominence », *Griffith Observer*, vol.48, fasc.7, 1984, p.2-15.

CHAUVEAU, *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences*, 1907, t.145, pp.1318-1319.

DA CUNHA, A., « L'exposition de l'enfance », *La Nature*, 1901, p.64.

DE LA BAUME PLUVINEL, Aymard, «Jules César Janssen», *Astrophysical Journal*, n°28, 1908, pp88-99.

LAUNAY, Françoise, «Jules Janssen et la photographie», in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000,*Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22-31

LAUNAY F., «Autour de l'éclipse totale de Soleil visible en Inde le 12 décembre 1871. Le voyage du couple Janssen aux Neelgherries», *L'Astronomie*, vol.111, avril 1997, p.112.

LEVY, Jacques, «JANSSEN, Pierre Jules César», *Dictionnary of Scientific Biography*, pp.73-78

MAHIAS , Marie-Claude, « Le Soleil Noir des Nilgiri. L'astronomie, la photographie et l'anthropologie physique en Inde du Sud », *Gradhiva*, 24, 1998, p.45-56.

MALHERBE, Jean-Marie, « Janssen et l'Observatoire Astronomique du Mont-Blanc », in *Un siècle d'astronomie dans la revue* L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), Paris, Vuibert, mai 2003, p.440-443.

NORDMANN, Charles, «Jules Janssen», *Revue Générale des Sciences*», Paris, 19ème année, 30 mars 1908, pp.223-225.

RADAU R., «L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon», *Revue des deux-mondes*, 15 octobre 1900, p.809.

RADAU, R. et DESLANDRES, H., «Discours prononcés aux funérailles de Janssen», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1909, pp.C1-C11.

SAGNET, Léon, «Janssen. Notice Biographique», *Grande Encyclopédie*, t.20.

SCHRADER, F., « Au Mont Blanc », *Le Tour du monde. Nouvelles géographiques*, n°5, 5 mai 1894, p.65-68.

UEBERSCHLAG, Josette, «Janssen et le démon de la précision», *L'Astronomie*, Février 2000, vol.114, p.58-61.

VERDET, Jean-Pierre, *Astronomie et Astrophysique, Textes Essentiels*, Larousse, 1993, pp. 751-779.

JANSSEN, J., « Mémoire sur l'absorption de la chaleur rayonnante obscure dans les milieux de l'œil », *Annales de Chimie et de Physique*, 3è série, t.60, 1860, p.72.

JANSSEN, J., « Application de l'analyse spectrale à la question concernant l'atmosphère lunaire », *CRAS*, 1863, t.56, p.962-963.

« Rapport sur un mémoire et sur plusieurs Notes de M. Janssen se rapportant à l'analyse prismatique de la lumière solaire et de celle de quelques étoiles ; Rapporteur : M. Fizeau. », *CRAS*, 1864, t.58, p.795-797.

JANSSEN, J., « Mémoire sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1865, t.60, pp. 71-93.

JANSSEN, J., « Observation de l'éclipse annulaire de Soleil du 6 mars 1867 à Trani (Italie) », *CRAS*, 1867, t.64, p.596-597.

JANSSEN, J., « Sur l'étude spectrale des protubérances solaires », *CRAS*, 1868, t.69, p.93-95.

JANSSEN, J., « Observations spectrales prises pendant l'éclipse du 18 août 1868, et méthode d'observation des protubérances hors éclipse », *CRAS*, 1868, t.69, p.367-375.

JANSSEN, J., « Sur la méthode qui permet de constater la matière protubérantielle sur tout le contour du disque solaire », *CRAS*, 1868, t.69, p.713-715.

JANSSEN, J., « Mémoire inédit de Jules Janssen sur la création d'un nouvel observatoire de physique céleste », novembre 1869, *Archives de l'Académie des Sciences.*

JANSSEN, J., « Etudes sur les raies telluriques du spectre solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1871, 4è série, t.23, p.274-299.

JANSSEN, J., « Lettre à M. le Secrétaire perpétuel, sur les résultats du voyage entrepris pour observer en Algérie, l'éclipse de Soleil du 22 décembre dernier », *CRAS*, 1871, t.72, p.218-222.

JANSSEN, J., « Sur la constitution du Soleil », CRAS, 1871, t.73, p.432-436.

JANSSEN, J., « Remarques sur le spectre de la vapeur d'eau, à l'occasion du vayage aérostatique de MM. Crocé-Spinelli et Sivel », *CRAS*, 1874, t.78, p.995-998.

JANSSEN, Jules, « On the total solar eclipse of April 5, 1875, observed at Bangchallô (Siam) », *Reports of the BAAS*, 1875, p.24

JANSSEN, Jules, « On the photographic revolver, and on observations of the Transit of Venus, made in Japan », *Reports of the BAAS*, 1875, p.26

JANSSEN, Jules, « On the position of the magnetic equator in the Gulf of Siam and in the Gulf of Bengal », *Reports of the BAAS*, 1875,p.28-29.

JANSSEN, J., « Sur la constitution de la surface solaire, et sur la photographie envisagée comme moyen de découverte en astronomie physique», *La Nature*, 1878, n°246, p.154-155 et 177-178.

JANSSEN, J., « Sur la photométrie photographique et son application à l'étude des pouvoirs rayonnants comparés du Soleil et des étoiles. », *CRAS*, 1881, t.92, p.822.

JANSSEN, Jules, « Les méthodes en astronomie physique », *Comptes rendus de l'AFAS*, 1882, p.9-22.

JANSSEN, J., « Note sur les raies telluriques et le spectre de la vapeur d'eau », *CRAS*, 1882, t.95, p.885-890.

JANSSEN, J., « Note sur divers points de physique céleste », *CRAS*, 1883, t.96, p.527-529.

JANSSEN, J., « La constitution des taches solaires, et la photographie en astronomie», *La Nature*, 1886, 14è année, 1er semestre, p.235-236

«L'aérostat dirigeable *La France*, au-dessus du Point-du-Jour, à Paris. Fac-similé d'une photographie instantanée exécutée à l'Observatoire d'astronomie physique de Meudon (Communiquée par M. Janssen, de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Meudon)», *La Nature*, 1886, 1er semestre, p.89.

JANSSEN, J., « Application de la photographie à la météorologie», *La Nature*, 1887, 16è année, n°761, p.65-66.

JANSSEN, J., « L'Age des étoiles », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1888.

JANSSEN, Jules, « Sur le spectre tellurique dans les hautes stations, et en particulier sur le spectre de l'oxygène «, *CRAS*, 1888, t.107, p.672-677.

JANSSEN, J., « L'âge des étoiles. Discours dans la séance publique annuelle des cinq Académies, du 25 octobre 1887. », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1888, p.709-727.

JANSSEN, J., « Compte rendu d'une ascension scientifique au Mont Blanc », *CRAS*, 1890, t.111, p.431-437.

JANSSEN., J., « La Photographie Astronomique » .Conférence du 20 décembre 1891, *Annales du CNAM*, 2ème série, t.4, 1892, p.249-262.

JANSSEN, J., « Sur les spectres de l'oxygène aux hautes températures », *La Nature*, 19 mai 1894, n°1094, p385-386.

JANSSEN, J., « Note sur la loi d'absorption des bandes du spectre de l'oxygène », *CRAS*, 1895, t.120, p.1306-1310.

JANSSEN, J., « Sur les travaux exécutés en 1897 à l'observatoire du mont Blanc «, *CRAS*, 1897, t.125, p.992-994.

JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome premier, Gauthier-Villars, Paris, 1896.

JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome deuxième, Paris, Gauthier-Villars, 1906.

JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome troisième, premier fascicule, Paris, Gauthier-Villars, 1906.

JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome troisième, second fascicule, Paris, Gauthier-Villars, 1907.

JANSSEN, J., *Œuvres Scientifiques*, recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1929, t.1

JANSSEN, J., *Oeuvres Scientifiques,* recueillies et publiées par Henri DEHERAIN, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1930, t.2

Norman Lockyer

WILKINS, G.A., « Sir Norman Lockyer'contributions to science », *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 1994, 35, p.51-57.

LOCKYER, J.N., «Recherches sur les Rapports de l'Analyse Spectrale avec le Spectre du Soleil», *Annales de Chimie et de Physique,* t.16, 1879, pp. 107-144.

LOCKYER, J.N., *L'Evolution Inorganique,* Alcan, Paris, 1905.

Michel Luizet

LEBEUF, A., « Luizet (Michel), Astronome-adjoint à l'Observatoire de Lyon. Les Céphéides considérées comme étoiles doubles, avec une monographie de l'étoile variable δ Céphée », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées,* t.24, 1913, p.359-360.

LUIZET, Michel, *Les Céphéides considérées comme étoiles doubles, avec une monographie de l'étoile variable δ Céphée*, Université de Lyon, 1912.

Bernard Lyot

D'AZAMBUJA, Lucien, «L'œuvre de Bernard Lyot», *L'Astronomie,* 1952, p.265-277.

DANJON, André, « Bernard Lyot », *Annales d'Astrophysique*, 15ème année, n°2, avril-juin 1952, p.1-4.

« Obituary : Bernard Lyot », *The Observatory*, vo.72, 1952, p.157-159.

« Bernard Lyot », MARTRES, Marie-Josèphe, in « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004, p.19-21.

Jean Mascart

MASCART, Jean, «Les Relations entre l'Activité solaire et l'Electricité atmosphérique», *Journal des Observateurs*, vol 9, n°3, 1926, p.33-35.

MASCART, Jean, «Les éclipses et la constitution du soleil», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.12, 1901, p.213-222 et 270-282.

Eleuthère Mascart

JANET, Paul, «La vie et les œuvres de E. Mascart», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.20, 1905, p.574-593.

LANGEVIN, Paul, « Eleuthère Mascart », disponible sur le site internet : http://www.annales.org/archives/x/mascart.html

MASCART, Eleuthère, « Recherches sur le spectre ultra-violet et sur la détermination des longueurs d'onde », *Annales Scientifiques de l'ENS*, 1ère série, t.4, 1864, p.219-262.

MASCART, Eleuthère, « Détermination des longueurs d'onde des rayons lumineux et des rayons ultra-violets», *CRAS*, t.58, 1864, p.1111-1114.

MASCART, Eleuthère, « Recherches sur la détermination des longueurs d'onde », *Annales Scientifiques de l'ENS*, 1ère série, t.4, 1867, p.7-36.

MASCART, Eleuthère, « Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur », *Annales Scientifiques de l'ENS*, 2ère série, t.1, 1872, p.157-214.

MASCART, Eleuthère, « Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur (deuxième partie) », *Annales Scientifiques de l'ENS*, 2ère série, t.3, 1874, p.363-420.

Gaston Millochau

MILLOCHAU, G., «Sur un nouveau système de micromètre», *CRAS*, t.139, 1904, p.590-591.

MILLOCHAU, G., «Sur un nouveau micromètre», *CRAS*, t.139, 1904, p.781-783.

MILLOCHAU, G., STEFANIK, M., «Sur un nouveau dispositif de spectrohéliographe», *CRAS*, t.142, 1906, p.825-826.

MILLOCHAU, G., STEFANIK, M., «On a new form of spectroheliograph», *Astrophysical Journal*, t.24, 1906, p.42-45.

MILLOCHAU, G., «Contribution à l'étude de la décharge intermittente», *CRAS*, t.142, 1906, p.665-666.

MILLOCHAU, G., «Etude photographique de la planète Jupiter», *CRAS*, t.138, 1904, p.1477-1479.

«M. Millochau : *Les lois régissant la forme des décharges électriques dans les tubes de Geissler et les effets produits par ces décharges.*», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.19, 1908, p.1009.

«Sur la température du Soleil et sur la détermination de la constante solaire», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.24, 1913, p.823 et t.20, 1909, p.193.

MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910.

MILLOCHAU, G., «Contribution à l'étude des effets spectraux des décharges électriques dans les gaz et les vapeurs», *CRAS*, t.153, 1911, p.808-812.

MILLOCHAU, G., «Contribution à l'étude des effets diélectriques dans les gaz. «, *CRAS*, t.154, 1912, p.1695-1697.

L'abbé Moigno

«François-Napoléon-Marie Moigno», *The Catholic Encyclopedia»*, 1917.

FLAMMARION, Camille, *Mémoires Biographiques et philosophiques d'un astronome*,1912, p.175-178.

TOLEDO, A., *Contribution à l'histoire de l'enseignement de projections lumineuses. Les travaux de l'Abbé Moigno (1872-1880)*. Diplôme de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, Ronéo, 1976.

Albert Nodon

« Albert Nodon », *L'Astronomie*, 1934, p.500-501.

NODON, Albert, «Etude sur les phénomènes électriques produits par les radiations solaires», *CRAS*, t.109, 1889, p.219-220.

NODON, Albert, «Disposition nouvelle permettant d'obtenir une image monochromatique des sources lumineuses.», *CRAS*, t.141, 1905, p.1010-1013.

NODON, Albert, *Eléments d'astrophysique. Introduction à l'étude de l'énergétique solaire et stellaire*, Librairie scientifique Albert Blanchard, Paris, 1926.

Charles Nordmann

NORDMANN, Charles, « Sur la transmission des ondes hertziennes à travers les liquides conducteurs «, *CRAS*, t.133, 1901, p.339-341.

NORDMANN, Charles, « Explication de divers phénomènes célestes par les ondes hertziennes «, *CRAS*, t.134, 1902, p.530-533.

NORDMANN, Charles, «Recherches sur le rôle des ondes hertziennes en astronomie physique», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.379-388.

NORDMANN, Charles, « Sur la constitution des nébuleuses «, *CRAS*, t.134, 1902, p.1282-1285.

NORDMANN, Charles, « Méthode pour l'enregistrement continu de l'état d'ionisation des gaz. Ionographe «, *CRAS*, t.138, 1904, p.1418-1420.

NORDMANN, Charles, « Fondation d'un observatoire astrophysique en Espagne», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.15, 1904, p.474-475.

NORDMANN, Charles, « Sur certaines expériences relatives à l'ionisation de l'atmopshère, exécutées en Algérie à l'occasion de l'éclipse totale du 30 août 1905 «, *CRAS*, t.141, 1905, p.945-948.

NORDMANN, Charles, «Raphaël Bischoffsheim», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.17, 1906, p.581.

NORDMANN, Charles, « Introduction à la photométrie hétérochrome des astres», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.158-172.

NORDMANN, Charles, « L'espace céleste est-il un milieu dispersif ?», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.5-37.

NORDMANN, Charles, « Méthode permettant la mesure des températures effectives des étoiles. Premiers résultats «, *CRAS*, t.149, 1909, p.557-560.

NORDMANN, Charles, « Sur la température de β Persée «, *CRAS*, t.149, 1909, p.662-663.

NORDMANN, Charles, « Nouvelle approximation dans l'étude des températures effectives des étoiles «, *CRAS*, t.149, 1909, p.1038-1041.

NORDMANN, Charles, « Sur un moyen de déterminer par la photométrie hétérochrome les parallaxes d'une certaine classe d'étoiles. Première application à deux étoiles «, *CRAS*, t.151, 1910, p.794-796.

NORDMANN, Charles, « Sur les éclats intrinsèques et les températures effectives d'algol et de son diamètre», *Bulletin Astronomique*, t.27, 1910, p.145-152.

NORDMANN, Charles, *Einstein et l'Univers. Une lueur dans le mystère des choses*, Hachette, Paris, 1921.

NORDMANN, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923.

BLONDEL, André, « Sur une solution de la photométrie hétérochrome permettant une mesure physique de l'intensité lumineuse «, *CRAS*, t.151, 1910, p.794-796.

JANET, P., « Le problème de la photométrie hétérochrome », *CRAS*, t.192, 1931, p.616-618.

FABRY, Charles, « La photométrie hétérochrome », *Rapport présenté à la Commission Internationale de l'Eclairage à Paris en juillet 1921*, reproduit in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.431-452.

FABRY, Charles, « Sur une solution pratique du problème de la photométrie hétérochrome », *CRAS*, t.137, 1903, reproduit in FABRY, Charles, *Œuvres Choisies publiées à l'occasion de son jubilé scientifique*, Gauthier-Villars, Paris, 1938, p.412-427.

Alfred Pérot

« Fonds Bonaparte », *CRAS*, t.146, 1908, p.1435.

« Médaille Janssen », *CRAS*, t.155, 1912, p.1304.

FABRY, Charles, «Alfred Pérot», *The Astrophysical Journal*, 64, n°4, p.209-214.

PEROT, Alfred, « Sur la rotation du Soleil », *CRAS*, t.147, 1908, p.340-342.

PEROT, Alfred, « Sur le renversement de la radiation verte émise par l'arc au mercure dans le vide », *CRAS*, t.148, 1909, p.404-406.

PEROT, Alfred, « Etude de la variation de la longueur d'onde de la lumière solaire au bord du Soleil », *CRAS*, t.151, 1910, p.38-41.

PEROT, Alfred, BOSLER, Jean, « Sur la théorie de la luminescence de l'arc au mercure dans le vide «, *CRAS*, t.151, 1910, p.216-218.

PEROT, Alfred, « Sur la mesure spectroscopique de la rotation des astres possédant une atmosphère, et en particulier du Soleil », *CRAS*, t.151, 1910, p.848-850.

PEROT, Alfred, « Sur la rotation de l'hydrogène dans l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.151, 1910, p.429-431.

PEROT, Alfred, Mlle Lindstedt, « Sur la longueur d'onde de la raie solaire b_2 », *CRAS*, t.152, 1911, p.1367-1370.

PEROT, Alfred, « Sur la spectroscopie solaire », *CRAS*, t.153, 1911, p.36-38.

PEROT, Alfred, « Sur la raie verte de la couronne », *CRAS*, t.154, 1912, p.1331-1333.

PEROT, Alfred, « Sur le mouvement apparent des vapeurs dans l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.154, 1912, p.1684-1686.

PEROT, Alfred, « Sur le mouvement des centres lumineux dans les tubes à hydrogène », *CRAS*, t.153, 1913, p.132-135.

PEROT, Alfred, « Sur certaines particularités de la vitesse des centres lumineux dans les tubes à hydrogène », *CRAS*, t.153, 1913, p. 310-312.

PEROT, Alfred, « Sur le mouvement des centres lumineux dans les décharges électriques », *CRAS*, t.153, 1913, p.1679-1681.

PEROT, Alfred, « Variation de la longueur d'onde des raies telluriques avec la hauteur du Soleil », *CRAS*, t.160, 1915, p.549 -551.

PEROT, Alfred, « Comparaison des longueurs d'onde d'une raie de bande du cyanogène dans la lumière du Soleil et dans celle d'une source terrestre », *CRAS*, t.171, 1920, p.229-232.

PEROT, Alfred, « Mesure de la pression dans l'atmosphère solaire », *CRAS*, t.174, 1922, p.933-934.

PEROT, Alfred, « Sur la variation de la longueur d'onde des raies telluriques », *CRAS*, t.174, 1922, p.215-217.

Henri Poincaré

BIGOURDAN, G., « Discours prononcé aux funérailles de M. Poincaré », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.29, 1912, p.362-364.

BOTTAZZA, Umberto, « Poincaré, philosophe et mathématicien », *Les Génies de la Science*, août-novembre 2000.

BOUDENOT, Jean-Claude, SAMUELI, Jean-Jacques, *H. Poincaré (1854-1912) physicien*, Ellipses, Paris, 2005.

GALISON, Peter, *L'Empire du temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Robert Laffont, Paris, 2005.

« Jules Henri Poincaré », *MNRAS*, vol.73, 1913, p.223-228.

JUVET, G., « Henri Poincaré et la théorie de la relativité générale », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.35, 1924, p.69-71.

LEBON, E., « Henri Poincaré », *Astronomische Nachriten*, 192, 1912, p.335-340.

LIPPMANN, G., « Discours prononcé aux funérailles de M. Poincaré », *Bulletin Astronomique*, série 1, vol.29, 1912, p.355-356.

SCHWARSZCHILD, K., « Reviews : *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques.* By H. Poincaré. *Researches on the Evolution of the Stellar Systems*. By T.J.J. See », *The Astrophysical Journal*, vol.37, 1913, p.294-298.

WALTER, Scott, «Poincaré et les physiciens», http://www.univ-nancy2.fr/DeptPhilo/walter/papers/hpphyssh.html

POINCARE, Henri, *Théorie des tourbillons*, G.Carré, Paris, 1893.

POINCARE, Henri, « Observations au sujet de la communication précédente de M. Deslandres », *CRAS*, t.120, 1895, p.420-421.

POINCARE, Henri, La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil, Scientia, 1907.

POINCARE, Henri, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, A. Hermann et fils, Paris, 1911.

POINCARE, Henri, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1968.

Georges Rayet

RAYET, Georges, « Mémoire sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire et sur la constitution physique du soleil », *Thèse présentée à la Faculté des sciences de Paris*, Paris, Gauthier-Villars, 1871.

ANDRE, Charles, RAYET, Georges, ANGOT, Alfred, *L'Astronomie pratique et les observatoires en Europe et en Amérique depuis le milieu du XVII^e siècle jusqu'à nos jours,* 5 vols., Paris, Gauthier-Villars, 1874-1881.

Henri Sainte-Claire Deville

PASTEUR, Louis, « Henri Sainte-Claire Deville », *La Nature,* n°425, juillet 1881, p.113-114.

GERNEZ, Désiré, « Notice sur Henri Sainte-Claire Deville », *Annales scientifiques de l'ENS,* 3e série, t.11, 1894, p.3-70.

Rodolphe Radau

RADAU, R., «Les progrès de l'astronomie stellaire», *Revue des deux-mondes,* 3e série, t.11, 1875, p.626.

RADAU R., «L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon», *Revue des deux-mondes,* 15 octobre 1900, p.809.

RADAU, R. et DESLANDRES, H., «Discours prononcés aux funérailles de Janssen», *Annuaire du Bureau des Longitudes,* 1909, pp.C1-C11.

Pierre Salet

BOSLER, Jean, «Pierre Salet (1875-1936)», *L'Astronomie,* 1937, p.459-462.

SALET, Pierre, « Sur la nature de l'atmosphère de Mercure et Vénus », *CRAS,* t.143, 1906, p.1125

SALET, Pierre, « Sur l'absence de polarisation des protubérances», *CRAS,* t.144, 1907, p.1125.

SALET, Pierre, « L'attraction dans l'univers stellaire «, *Bulletin Astronomique,* vol.19, 1909, p.227-236.

SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique,* Paris, Doin et fils, 1909.

SALET, Pierre, « Sur l'étude de la polarisation en astronomie », *Annales de l'Observatoire de Paris,* vol.27, 1910, p.C1-C59.

SALET, Pierre, « Sur l'absorption de la lumière des étoiles par les météorites «, *Bulletin Astronomique*, vol.28, 1911, p.241-251.

SALET, Pierre, « Sur la spectrophotométrie des étoiles carbonées «, *CRAS*, t.173, 1921, p.828.

SALET, Pierre, « Sur la pression des atmosphères des étoiles et du Soleil «, *CRAS*, t.174, 1922, p.151-152.

SALET, Pierre, « Les Univers-îles », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.37, 1926, p.168-174.

SALET , Pierre, *Le Livre de la Sagesse*, Paris, Payot, sans date.

Edouard Stephan

BOSLER, Jean, « Edouard Stephan », *Journal des Observateurs*, vol.7, n°2, 1924, p.9-10.

GEORGELIN, Yvon, « Edouard Stephan, une éclipse de soleil au Siam et un quintet de galaxies », in AILLAUD, Georges, GEORGELIN, Yvon, TACHOIRE, Henri, *Marseille. 2 600 ans de découvertes scientifiques*, Publications de l'Université de Provence, 2002, p.47-68.

STEPHAN, Edouard, « Voyage de la commission française envoyée par le Ministre de l'Instruction Publique sur la côte orientale de la presqu'île de Malacca, pour y observer l'éclipse totale du 18 août 1868 », *Annales Scientifiques de l'ENS*, série 1, 7, 1870, p.99-162

STEPHAN, Edouard, « Sur les franges d'interférences observées avec de grands instruments dirigés sur Sirius et sur plusieurs autres étoiles ; conséquences qui peuvent en résulter, relativement au diamètre angulaire de ces astres », *CRAS*, t.76, 1873, p.1008-1010.

STEPHAN, Edouard, « Sur l'extrême petitesse du diamètre apparent des étoiles fixes », *CRAS*, t.78, 1874, p.1008-1012.

Louis Thollon

GUEBHARD, Adrien, « Le spectroscope et des derniers perfectionnements», *La Nature*, 1879, 2ème semestre, p.223-226.

THOLLON, Louis, « Nouveau spectroscope à vision directe », *CRAS*, t.86, 1878, p.329-331.

THOLLON, Louis, « Théorie du nouveau spectroscope à vision directe », *CRAS*, t.86, 1878, p.595-598.

THOLLON, Louis, « Sur un nouveau spectroscope stellaire », *CRAS*, t.89, 1879, p.749-752.

THOLLON, Louis, « Observations sur un groupe de raies dans le spectre solaire », *CRAS*, t.91, 1880, p. 368-370.

THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques faites sur le Soleil, à l'Observatoire de Paris », *CRAS*, t.91, 1880, p. 656-660.

THOLLON, Louis, « Etudes spectroscopiques sur les comètes b et c 1881 », *CRAS*, t.93, 1881, p.383-384.

THOLLON, Louis, « Analyse spectrale des comètes B et C 1881 », *La Nature*, n°429, 20 août 1881, p.177-178.

http://www.obs-nice.fr/histoire-nice/index.html

Sur la mort de Thollon voir aussi JANSSEN, Jules, *CRAS*, t.104,1887, p.1047-1048.

Avec Gouy :

THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Sur une comète observée à Nice », *CRAS*, t.95, 1882, p. 555-557.

THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Observations spectroscopiques sur la grande comète (*Cruls*) «, *CRAS*, t.95, 1882, p. 712-714.

THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Mesures spectrophotométriques en divers points du disque solaire », *CRAS*, t.95, 1882, p. 834-836.

THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « La grande comète (Cruls). Observations spectroscopiques », *La Nature*, n°492, 4 novembre 1882, p. 353-354.

THOLLON, Louis, GOUY, Georges, « Sur le déplacement des raies du sodium», *CRAS*, t.96, 1883, p. 371-372.

Etienne-Léopold Trouvelot

«Sale of instruments and drawings from the collection of the late M. Trouvelot», *Astrophysical Journal*, 03/1897, vol.5, p217-218.

« E.-L. Trouvelot », *La Nature*, 1895, 23^{e} année, 1er semestre, p.350

GUILLAUME, C.-E., « La durée des éclairs », *La Nature*, 1895, 1er semestre, p.213-214.

HALE, George, Ellery, « Etienne-Léopold Trouvelot», *The Astrophysical Journal*, vol.2, 1895, p.166-167.

HERMAN, Jan K., CORBIN, Brenda, G., «Trouvelot : from Moths to Mars», *Sky and telescope*, décembre 1986, p.566-568.

LAUNAY, Françoise, «Trouvelot à Meudon, une «affaire» et huit pastels», *L'Astronomie*, vol.117, octobre 2003, p.452-461.

The Observatory, 1895, vol.18, p.245-246

GUILLEMIN, A., TROUVELOT, E., «Sur certaines tâches périodiques de Jupiter», *La Nature*, 1880, 8^{e} année, 1er semestre, p.113-115.

TROUVELOT, E.-L., « Spectres fugitifs observés près du limbe solaire », *Annales de Chimie et de Physique*, 1880, vol.19, p.433-449.

TROUVELOT, E.-L., « Sur la structure intime de l'enveloppe solaire », *Bulletin Astronomique*, vol.2, 1885, p.263-273, 364-373, 413-423, p.312-314A (planches).

TROUVELOT, E.-L., « Sur la forme des décharges électriques sur les plaques photographiques », *La Lumière Electrique*, 1888, vol.30, p.269-273.

TROUVELOT, E.-L., « Etude sur la structure des éclairs», *CRAS*, 1888, t.107, p.153-154.

TROUVELOT, E.-L., « La photographie appliquée à l'étude des décharges électriques », *CRAS*, 1888, t.107, p.684-685.

TROUVELOT, E.-L., « Phénomènes produits par les décharges électriques sur le papier pelliculaire Eastman », *CRAS*, 1888, t.107, p.784-786.

TROUVELOT, E.-L., « La photographie de l'étincelle électrique », *L'Astronomie*, 1889, p.57-61.

TROUVELOT, E.-L., « Etude des phénomènes d'induction par le moyen de la photographie», *CRAS*, 1889, t.108, p.346-347.

TROUVELOT, E.-L., « Etude sur la structure de l'éclair», *CRAS*, 1889, t.108, p.1246-1247.

TROUVELOT, E.-L., « La photographie appliquée à l'étude de l'étincelle électrique », *La Nature*, 1889, 2ème semestre, p.109-110.

TROUVELOT, E.-L., « Identité de structure entre les éclairs et les décharges des machines d'induction», *CRAS*, 1890, t.111, p.483-485.

Jules Violle

VIOLLE, Jules, « Sur la température du Soleil », *CRAS*, t.78, 1874, p.1425-1427 et p.1816-1819, et t.79, 1874, p.746-749.

VIOLLE, Jules, « Sur la température du Soleil (réponse à M. Soret) », *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, t.4, 1875, p.363-370.

VIOLLE, Jules, « Une expédition au Mont-Blanc », *Revue des Deux Mondes*, t.12, 3ème période, 1875, p.204-216.

VIOLLE, Jules, « Mémoire sur la température de la surface du Soleil », *Annales de Chimie et de Physique*, 3ème série , t.10, 1877, p.289-361.

VIOLLE, Jules, « Le mouvement scientifique aux Etats-Unis », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.23, 1894, p.889-919.

VIOLLE, Jules, « L'actinométrie et les ballons », *CRAS*, t.125, 1897, p.627-629

VIOLLE, Jules, « Actinométrie en ballon », *CRAS*, t.126, 1898, p.1748-1749.

VIOLLE, Jules, « Observations actinométriques pendant l'éclipse du 28 mai 1900 », *CRAS*, t.130, 1900, p.1658-1661.

VIOLLE, Jules, « Preparations of the Second conference. N°12. Report on radiation», *Transactions of International Union for Cooperation in Solar Researches*, vol.1, 1906, p.66-76.

SORET, J.-L., « Sur la température du Soleil (extrait d'une lettre de M. J.-L. Soret à M. H. Sainte-Claire Deville) », *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t.3, 1874, p.435-439.

Hermann Carl Vogel

MACPHERSON, H., «Hermann Carl Vogel», *The Observatory*, vol 30, 1907, p.403-405.

CHANT, C.A., «Hermann Carl Vogel», *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, vol.1, p.360-361.

FROST, Edwin, «Hermann Carl Vogel», *The Astrophysical Journal*, vol.27, 1908, p.1-11.

«Obituary notices : Vogel, Carl Hermann», *Monthly Notices f the Royal Astronomical Society*, vol.68, 1908, p.254-257.

VOGEL, H.C., « Sources of error in investigations on the motion of stars in the line of sight. », *Astronomische Nachriten*, n°3483, mars 1898, reproduit dans *Astrophysical Journal*, vol.7, avril 1898, p.249-254.

VOGEL, H.C., « On the progress made in the last decade in the determination of stellar motions in the sight of light », *Astrophysical Journal*, vol.11, 1900, p.373-392.

Charles Wolf

WOLF, Charles, DIACON, Emile, « Note sur les spectres des métaux alcalins », *CRAS*, t.55, 1863, p.334-336.

WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Spectroscopie stellaire », *CRAS*, t.65, 1867, p.292-296.

WOLF, Charles, « Sur le spectre de la comète de Winnecke », *CRAS*, t.66, 1866, p.1336-1337.

WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Sur la lumière de la comète de Winnecke », *CRAS*, t.71, 1870, p.49-50.

WOLF, Charles, RAYET, Georges, « Sur le spectre de la comète III de 1873 », *CRAS*, t.77, 1873, p.529.

WOLF, Charles, «Description du sidérostat de L. Foucault», *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2è série, t.1, 1872, p.51-84.

WOLF, Charles, *Les Hypothèses Cosmogoniques. Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes. Suivi de la traduction de la Théorie du Ciel de Kant*, Gauthier-Villars, Paris, 1886.

WOLF, Charles, «Les Méthodes en Astronomie physique», *Ciel et Terre*, vol.4, 1884, p.76-87 et p.108-115

WOLF, Charles, « Sur la comparaison des résultats de l'observation astronomique directe avec ceux de l'inscription photographique », *CRAS*, t.102, 1886, p.476-477.

Bibliographie thématique

Sur la spectroscopie

«La Couleur», *Dossier Pour la Science*, n°27, avril 2000.

«L'éclipse partielle du soleil du 17 mai 1863», *L'Année Scientifique*, 1862, 8ème année, p.36.

ANONYME, «M. Thollon's Atlas of the Solar Spectrum», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1891, vol.51, p.260

AUBIN, David, «La Métamorphose des éclipses de soleil», *La Recherche*, juin 1999, n°321, p.78-82.

BENNET, J.A., «The Spectroscope first decade», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, vol.4, 1984, p.3-6.

BREWSTER, D., GLADSTONE, J.H., « On the lines of the solar spectrum », *Philosophical Transactions*, 150, 1860, p.149-160.

BREWSTER, David, Philosophical Transactions of Edinburgh, t.12, avril 1833

BROWNING, John, « On a Simple Form of Star Spectroscope», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol.29, juin 1869, p.326-327.

CAZIN, Achille, *La Spectroscopie*, Paris, Gauthier-Villars, 1878

DELAUNAY, Charles, «Notice sur la constitution de l'Univers, Première partie: Analyse Spectrale», *Annuaire du Bureau des Longitudes*, Paris, Gauthier-Villars, 1869, p.457

DRAPER, H., «De l'oxygène dans le Soleil. Nouvelle théorie du spectre solaire», *La Nature*, 1877, 5e année, 2ème semestre, p.355-356.

DUMOULIN, C., *Mouvements et éclats des corps célestes*, Questions d'Astronomie, t.2, CRDP du Limousin, 1999.

FRAUNHOFER, J., « Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques», *Schumachers Astronomische Nachriten*, Bd.2, 1823, pp.24-25.

GEORGELIN, Y. et ARZANO, S., «L'éclipse de Soleil du 18 août 1868, Stephan et Rayet, hôtes du roi de Siam à Wha-Tonne», *L'Astronomie*, vol.113, janvier-février 1999, p.12.

GUEBHARD, Adrien, «Le spectroscope et ses derniers perfectionnements», *La Nature*, 1879, 2è semestre, p.223-226.

GINGERICH, Owen, «Astronomical Scrapbook, Unlocking the Chemical Secrets of the Cosmos» in *Sky and Telescope*, juillet 1981, p13-15.

GUEBHARD, Adrien, «Le spectroscope et ses derniers perfectionnements», *La Nature*, 1879, 2è semestre, p.223-226.

HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of Starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

JACKSON, Myles W., *Spectrum of belief, Joseph von Fraunhofer and the craft of precision optics*, Cambridge, MIT Press, 2000.

JAMES, F.A.J.L., « The creation of a victorian myth : the historiography of spectroscopy », *History of Science*, vol.23, 1985, p.1-24.

KIRCHHOFF, Gustav, « Contribution towards the History of the Solar Spectrum», *Philosophical Magazine*, 1863, 25, p.255.

KIRCHHOFF, Gustav, «Recherches sur le Spectre Solaire et sur les Spectres des Corps Simples», *Annales de Chimie et de physique*, 3ème série, t 68, 1863,p.24.

KIRCHHOFF, Gustav, *Annales de Chimie et de physique*, t.58, 1860

MAC GUCKEN, W., *Nineteenth Century Spectroscopy, Development of the Understanding of Spectra 1802-1897*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1970.

MELVILL, Thomas, «Observations on light and colours», *Physical and Literary essays*, Edinburgh, 1752, p.241-243

RAYET, Georges, «Mémoire sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire et sur la constitution du soleil», Thèse de doctorat, Paris, 1871.

ROSMORDUC, Jean, «Introduction à l' histoire de l'optique», *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°676, juillet-août-septembre 1985, p.1267.

SAILLARD, Michel, «Histoire de la Spectroscopie, De la théorie de la lumière et des couleurs de I.Newton (1672) à la découverte de l'effet Zeeman (1897)», *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, N°26, 1988.

SAILLARD, Michel, «Notes sur l'histoire de la spectroscopie», *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°655, juin 1983, p.1157.

SALET, Georges, *Traité Elémentaire de Spectroscopie*, Paris, Masson, 1888

SALET, Pierre, *Spectroscopie Astronomique*, Paris, Doin et fils, 1909

SCHELLEN, Heinrich, *Spectrum Analysis in its application to terrestrial substances*, Londres, Longmans,1872.

SWAN, W., «On the prismatic spectra of the flames of compounds of carbon and hydrogen», *Transactions of the Royal Society*, Edimbourg, 1857, 21, pp. 411-430.

TALBOT, H.F., «Some experiments of coloured flames», *Edim.Jour.Sc.*,t.5, 1826, p.81.

URBAIN, G., *Introduction à l'étude de la spectrochimie*, Hermann, Paris, 1911.

WOLLASTON, William, «Method of examining refractive and dispersive powers», Philosophical Transactions, 1802.

WARNER, Deborah Jean, «Direct vision spectroscopes», *Rittenhouse*, 7, 1993, p.40-48.

Sur la photographie

AMAR, Pierre-Jean, *Histoire de la Photographie*, Paris, PUF, Collection «Que sais-je», 1997.

ANONYME, «Dr. Huggins' method of photographic the Solar Corona», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1884, vol.44, p.203.

BERNARD, Denis, GUNTHERT, André, *L'Instant Rêvé, Albert Londe*, Nîmes, Editions Jacqueline Chambon, 1993.

BIGG, Charlotte, «Photography and the labour history of astronomy : The Carte du Ciel», *Acta Historica Astronomiae, vol.9 : The Role of Visual Representation in Astronomy : History and Research Practice*, 2000, p. 90-106

CANGUILHEM, Denis, *Le Merveilleux scientifique. Photographies du monde savant en France 1844-1918*, Gallimard, 2004.

Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000

HACKMANN, Willem D., « Warren De la Rue and lunar photography », *Bulletin of the Scientific Instrument Society* , vol.53, 1997, p.2-4.

LEVITT, Theresa, « Biot's paper and Arago's plates. Photographic practice and the transparency of representation », *Isis*, 94, 2003, p.456-476.

MEUNIER, Stanislas, « Photographie lunaire », *La Nature*, 1887, 1er semestre, p.240.

MEUNIER, Stanislas, « Photographie des nébuleuses », *La Nature*, 1881, 1er semestre, p.175

MOUCHEZ, Ernest, *La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la Carte du ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1887.

ROTHERMEL, Holly, « Images of the sun : Warren de la Rue, George Bidell Airy and celestial photography », *British Journal for the History of Science*, vol.26,1993, p.137-169.

ZENGER, C.V., « Nouveaux objectifs pour la photographie céleste », *La Nature*, 1896, 2ème semestre, p.298-299.

PARKHURST, John, « Apparatus and method for the photographic measurement of the brightness of surfaces », *ApJ.*, 1899, vol.10, p.321-332.

STALEY, R., « The new age of physics : Space Time on a Photographic Plate», *The Cambridge Review*, vol.116, 1995, p.3-12.

TISSANDIER, G., « La Société d'excursion des amateurs de photographie », *La Nature*, 1887, 15ème année, 2ème semestre, p.264-266.

VAUCOULEURS, Gérard, *La Photographie Astronomique, du daguerréotype au télescope électronique*, Paris, Albin Michel, 1959.

Sur le revolver photographique

CAPELLO, J., «On a apparatus designed for the Photographic Record of the Transit of Venus.», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 05/1874, vol.34, p.354-356.

DE LA RUE, Warren, «On a piece of Apparatus for carrying out M. Janssen' s method of Time-Photographic Observations of the Transit de Venus», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 05/1874, vol.34, p.347-353.

DUMAS, Jean-Baptiste, « Rapport sur l'état des préparatifs pour les expéditions chargées par l'Académie d'aller observer le passage de Vénus sur le Soleil, le 9 décembre 1874 », CRAS, 1874, t.78, p.1796-1806

FLAMMARION, Camille, « Le Passage de Vénus. Résultats des expéditions françaises », *La Nature*, 1875, 1er semestre, p.356-358.

LAUNAY, Françoise, « Jules Janssen et la photographie «, in *Dans le Champ des Etoiles, Les Photographes et le ciel, 1850-2000*,Paris, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, 2000, p.22-31.

LAUNAY, Françoise, HINGLEY, Peter D., «Jules Janssen's 'revolver photographique' and its british derivative, 'the Janssen slide' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, 2005, p.57-79.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 06/1874, vol.34, p.364-365

SICARD, Monique, « Passage de Vénus, Le Revolver Photographique de Jules Janssen », *Etudes Photographiques*, 4, 1998, p.45-63.

TISSANDIER, Gaston, « Appareil photographique de M. Fetter », *La Nature*,

« The Total Eclipse of the Sun of 1875, April 6 », *MNRAS*, vol.36, 1876, p.181-185.

Sur le spectrohéliographe

Millochau, G., Stefanik, M., «Sur un nouveau dispositif de spectrohéliographe», *CRAS*, t.142, 1906, p.825-826.

Millochau, G., Stefanik, M., «On a new form of spectroheliograph», *Astrophysical Journal*, t.24, 1906, p.42-45.

D'AZAMBUJA, Lucien, «L'étude de l'atmosphère solaire au spectrohéliographe», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 1932, t.43, p.563-578.

«A propos du spectrohéliographe», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 1906, t.17, p.305-306.

Voir aussi les articles de Deslandres et Hale.

Sur le Passage de Vénus

« Le Passage de Vénus sur le disque solaire », *La Nature*, 1874, 1er semestre, p.52-55.

« Le Passage de Vénus en 1874 », *La Nature*, 1874, 2ème semestre, p.87-90

« Preparations for Observing the Transit of Venus », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 02/1874, 34, p.186.

« Prof. C.V. Zenger, On enlarging photographs », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 06/1874, 34, p.364-365.

AUBIN, David, « Un arpentage du ciel ayant le globe terrestre pour base », ??????????????

CANALES, Jimena, « Photogenic Venus. The « Cinematographic Turn » and Its Alternatives in Nineteenth-Century France », *Isis*, 2002, 93, p.585-613.

CORNU, Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *CRAS*, 79, 1874, p.1361-1365.

CORNU, Alfred, « Sur la vitesse de propagation de la lumière », *CRAS*, 91, 1880, p.1019-1023.

DE VORKIN, David H., « Venus 1882 : Public, Parallax, and HNR », *Sky and Telescope*, vol.64, n°6, decembre 1982.

DUMAS, Jean-Baptiste, « Rapport sur l'état des préparatifs pour les expéditions chargées par l'Académie d'aller observer le passage de Vénus sur le soleil, le 9décembre 1874 », *CRAS*, 1874, t.78, 1796-1806.

FAYE, Hervé, « Le prochain passage de Vénus sur le soleil », *AFAS*, Conférence du 22 aout 1874, p.1239-1255.

SICARD, Monique, « Passage de Vénus, Le Revolver Photographique de Jules Janssen », *Etudes Photographiques*, 4, 1998, p.45-63.

Sur les constructeurs et les instruments

«Ces instruments qui font la science», *Sciences et Avenir Hors série*, n°140, octobre - novembre 2004.

BRENNI, Paolo, «19th Century French Scientific Instrument Makers : The Brunners and Paul Gautier», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n°49, 1996, pp.3-8.

BRENNI, Paolo, «19th Century French Scientific Instrument Makers : The Chevalier Dynasty», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n°39, 1993, pp.11-14.

BRENNI, Paolo, «19th Century French Scientific Instrument Makers : Soleil, Duboscq, and their succesors», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n°51, 1996, pp.7-16.

BRENNI, Paolo, «19th Century French Scientific Instrument Makers : Lerebours et Secretan», *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n°40, 1994, pp.3-6.

DENIKER, J., «Deuxième Conférence du Catalogue Scientifique International», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 9ème année, 1898, p.22.

DUBOSCQ, Jules, *Historique et catalogue de tous les instruments d'optique supérieure appliqués aux sciences et à l'industrie*, 1885.

GRILLOT, Solange, «Les instruments des observatoires français au 19e siècle», *L'Astronomie, Bulletin de la Société Astronomique de France*, 100 (1986), p.275-289.

Instruments of Science : an Historical Encyclopedia, BUD, Robert, WARNER, Deborah Jean (dir.), New-York, Garland Pub, 1998.

JOERGES, Bernward, SHINN, Terry (dir.), *Instrumentation between science, state and industry*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 2001.

« Jules Duboscq », *La Nature*, 1883, 14 année, 2ème semestre, p.302.

PAYEN, Jacques, «Les constructeurs d'instruments scientifiques en France», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, n°116, vol.36, 1986.

PELLETAN, J., «Héliostat d'Hartnack et Prazmowski», *La Nature*, 1877, 5e année, ? semestre, p.95-96

PRAZMOWSKI, «Sur l'achromatisme chimique», CRAS, 1874, t.79, p.107

PRAZMOWSKI, «Hélioscope», CRAS, 1874, t.79, p.33

Sur les rayons cathodiques

ARRHENIUS, Svante, «La cause de l'aurore boréale», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.65-76.

BAUER, Edmond, « Les ions dans les électrolytes et les gaz. Evolution des idées sur la structure de l'électricité», *La Science contemporaine*, vol.1, Le XIXème siècle, TATON, René (dir.), Quadrige/Puf, Paris, 1995.

BARBO, Loïck, *Les Becquerel, une dynastie de scientifiques*, Belin, 2003. En particulier le chapitre 11 :»La découverte de la radioactivité», p.95-110.

BIRKELAND, Kristian, « Sur un spectre des rayons cathodiques », *CRAS*, t.123, 1896, p.492-495.

BIRKELAND, Kristian, « Sur le spectre des rayons cathodiques », *CRAS*, t.126, 1898, p.228-231.

DECOMBE, Louis, « Sur la résonance multiple », *CRAS*, t.124, 1897, p.1016-1019.

DECOMBE, Louis, « Sur la résonance multiple », *CRAS*, t.126, 1898, p.1027-1028.

DECOMBE, Louis, « Mesure directe de la période des oscillations hertziennes », *CRAS*, t.126, 1898, p.518-521.

DESLANDRES, Henri, « Action mutuelle des électrodes et des rayons cathodiques dans les gaz raréfiés», *CRAS*, t.124, 1897, p.678-681.

DESLANDRES, Henri, « Propriétés nouvelles des rayons cathodiques qui décèle leur composition complexe», *CRAS*, t.124, 1897, p.945-949

DESLANDRES, Henri, « Propriétés des rayons cathodiques simples. Relation avec les oscillations électriques», *CRAS*, t.124, 1897, p.1297-1300

DESLANDRES, Henri, « Recherches sur les rayons cathodiques simples.», *CRAS*, t.125, 1897, p.373-375.

DESLANDRES, Henri, «Explication de plusieurs phénomènes célestes par les rayons cathodiques «, *CRAS*, t.126, 1898, p.1323-1326.

DESLANDRES, Henri, «Remarques sur les rayons cathodiques «, *CRAS*, t.127, 1898, p.1210-1215.

DESLANDRES, Henri, «Sur la recherche d'un rayonnement hertzien émané du Soleil», *CRAS*, t.134, 1902, p.527-530.

DESLANDRES, Henri, «Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil», *CRAS*, t.134, 1902, p.1134-1136.

DESLANDRES, Henri, «Explication simple de plusieurs phénomènes célestes et terrestres par les rayons cathodiques et les files de particules électrisées», *Les quantités élémentaires d'électricité : ions électrons, corpuscules,Mémoires réunis et publiés par Henri Abraham et Paul Langevin*, Gauthier-Villars, Paris, 1905.

DUFOUR, Alexandre, « Rotation spontanée et rotation dans un champ magnétique de l'arc à mercure. Observation du phénomène de Doppler », Annales de Chimie et de Physique, 8ème série, t.22, 1911, p.284-285.

FIZEAU, H., « Remarques sur l'influence que l'aberration de la lumière peut exercer sur les observations des protubérances solaires par l'analyse spectrale », *CRAS*, t.113, 1891, p.353-356.

GOLDSTEIN, Eugen, « Remarques sur les rayons cathodiques », *CRAS*, t.126, 1898, p.1199-1201.

GOLDSTEIN, Eugen, « Sur les rayons cathodiques simples », *CRAS*, t.127, 1898, p.318-321.

HEDENUS, M., « Eugen Goldstein and his laboratory work at Berlin Observatory », *Astronomische Nachrichten*, vol.323, 6, 2002, p.567-569.

LANGEVIN, Paul, « La physique des électrons », *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.16, 1905, p.257-276.

LELONG, Benoît, «Electron», *Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, LECOURT, Dominique (dir.), Quadrige/Puf, Paris, 2003, p.324-326.

LELONG, Benoît, «Paul Villard, J.-J. Thomson et la composition des rayons cathodiques», *Revue d'Histoire des Sciences*, 50, 1997, p.89-130.

NORDMANN, Charles, «Recherches sur le rôle des ondes hertziennes en astronomie physique», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.13, 1902, p.379-388.

POINCARE, Henri, « Remarques sur une expérience de M. Birkeland », *CRAS*, t.126, 1898, p.530-533.

URBAIN, Georges, *Introduction à l'étude de la spectrochimie*, Librairie scientifique Hermann & Fils, Paris, 1911.

VILLARD, Paul, *Les rayons cathodiques*, Hérissey, Paris, 1900.

WITKOWSKI, Nicolas, « Kristian Birkeland, fabricant d'aurores boréales », *La Recherche*, Hors série n°15, avril 2004, p.25-27. Article publié également dans *La Recherche*, n°345, septembre 2001.

Sur les tourbillons

AUBIN, David, «Seeing structure, structuring sight : Bénard's cell and the Visualization of Self-Organisation», *Document de travail prepare pour le séminaire «New Paths of Physical Knowledge», Berlin, 11-14 Novembre 2004*.

BELOT, Emile, «Essai de cosmogonie tourbillonaire», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.55-70.

BELOT, Emile, «La genèse de l'atome et la distribution des raies spectrales», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1912, p.1-4.

BELOT, Emile, «Expérience reproduisant les spires des nébuleuses spirales», *CRAS*, t.154,1912, p.1780-1782.

BELOT, Emile, «Sur la formation des anneaux dans la nébuleuse de Laplace», *CRAS*, t.154,1912, p.752-754.

BELOT, Emile, «Sur la formation des cirques lunaires avec reproduction expérimentale», *CRAS*, t.154,1912, p.638-640.

BELOT, Emile, «Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.121,1910, p.642-652.

BELOT, Emile, *L'origine dualiste des mondes et la Structure de notre Univers*, Payot, Paris,1924.

BENARD, Henri, «Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.11, 1900, p.1261-1271 et p.1309-1328.

BENARD, Henri, «Sur la formation des cirques lunaires, d'après les expériences de C. Dauzère.», *CRAS*, t.154, 1912, p.260-263.

BENARD, Henri, « Sur les tourbillons cellulaires », *Annales de Chimie et de Physique*, t.24, 1911, p.563-565.

BIGOURDAN, Guillaume, « Revue des publications astronomiques », *Bulletin Astronomique*, 28, 1911, p.468-470.

CARTAUD, G., « Sur la structure cellulaire de quelques métaux », *CRAS*, t.132, 1901, p.1327-1329.

DAUZERE, C., «Division cellulaire des liquides et des solides», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.289-296.

DAUZERE, C., «Formation des cristaux», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1909, p.257-263.

DAUZERE, C., «La division cellulaire des bains de développement», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1912, p.179-185.

DAUZERE, C., «Les tourbillons cellulaires isolés», *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1912, p.123-128.

DAUZERE, C., «Sur les changements qu'éprouvent les tourbillons cellulaires lorsque la température s'élève», *CRAS*, t.155, 1912, p.394-398.

MACQUORN RANKINE, «Sur l'hypothèse des tourbillons moléculaires», *Annales de Physique et de Chimie*, 1864, 4è série, t.2, p.504-505.

POINCARE, Henri, *Théorie des tourbillons*, G.Carré, Paris, 1893.

ROMANI, Lucien, *La naissance du système solaire*, Librairie Blanchard, Paris, 1983. Préface d'Audoin Dollfus.

Sur la cosmogonie

ARRHENIUS, Svante, *L'évolution des mondes*, Librairie polytechnique Ch. Béranger, Paris, 1910.

BELOT, Emile, «Les tourbillons et le dualisme en cosmogonie», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, n°1293, 12 mars 1898, p.225-226.

BELOT, Emile, "Essai de cosmogonie tourbillonaire", *Comptes Rendus de l'AFAS*, 1908, p.55-70.

BELOT, Emile, «La position du problème cosmogonique», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.23, 1912, p.377.

FAYE, Hervé, Sur l'origine du monde. Théories cosmogoniques des Anciens et des Modernes, Gauthier-Villars, Paris, 1884.

FREYCINET, Charles de, *Planètes télescopiques. Application de la théorie de Laplace*, Gauthier-Villars, Paris, 1900.

MERLEAU-PONTY, Jacques, Cosmologie du XX^{e} siècle. Etude épistémologique des théories de la cosmologie contemporaine, Gallimard, Paris, 1965, p.300.

MERLEAU-PONTY, Jacques, *La science de l'univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, Paris, Vrin, 1983.

POINCARE, Henri, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, A. Hermann et fils, Paris, 1911.

ROCHE, Edouard, *Essai sur la constitution et l'origine du système solaire*, Mémoire de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Section des Sciences, vol.8, 1873.

ROMANI, Lucien, *Théorie Générale de l'Univers Physique (Réduction à la Cinématique), t.2, Applications*, Paris, Librairie Blanchard, 1976.

ROMANI, Lucien, *La naissance du système solaire*, Paris, Librairie Blanchard, 1983. Préface d'Audoin Dollfus.

VERONNET, Alexandre, *Les hypothèses cosmogoniques modernes*, Librairie Hermann, Paris, 1914.

WOLF, Charles, *Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes. Suivi de la traduction de la Théorie du Ciel de Kant*, Gauthier-Villars, Paris, 1886.

Sur la métrologie

BIGG, Charlotte, *Behind the Lines. Spectroscopic Entreprises in Early Twentieth Century Europe*, thèse de doctorat, University of Cambridge, 2002.

GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, Chicago, University of Chicago Press, 1997.

GUILLAUME, Charles-Edouard, «Mesure précise des longueurs d'onde. Expériences de M. A. Michelson», *La Nature*, 1895, 2ème semestre, p.410-414, p.427-430.

«Les unités électriques», *La Nature*, 1891, p.319.

«Nouvelle expression du mètre», *La Nature*, 1893, p.335.

O'CONNEL, Joseph, « Metrology : the creation of universality by the circulation of particulars », *Social Studies of Science*, vol.23, 1993, p.129-173.

The Values of Precision, WISE, Norton (dir.), Princeton University Press, 1995.

TISSANDIER, Gaston, «Le mètre», *La Nature*, 1873, p.17-18.

Sur l'image

ALLAMEL RAFFIN, Catherine, *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse soutenue le 26 novembre 2004 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I

DASTON, Lorraine, GALISON, Peter, « The image of objectivity », *Representations*, vol.40, 1983, p.82-128.

GALISON, Peter, *Image and logic : a material culture of microphysics*, Chicago, University of Chicago Press, 1997.

HENTSCHEL, Klaus, *Mapping the Spectrum, Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford, Oxford University Press, 2002

SICARD, Monique, *L'année 1895, l'image écartelée entre voir et savoir*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, 1994.

SICARD, Monique, *La Fabrique du Regard*, Paris, Edition Odile Jacob, 1998.

Sur l'analogie

ALLAMEL RAFFIN, Catherine, *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse soutenue le 26 novembre 2004 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I

NERSESSIAN, Nancy, «Reasoning from Imagery and Analogy in Scientific Concept Formation», *Proceedings of the 1988 biennial meeting of the Philosophy of Science*, p.41-47.

PLANTE, Gaston, « Les taches solaires et la constitution physique du Soleil », *La Nature*, n°153, 8 mai 1876, p.353-354.

PLANTE, Gaston, *Recherches sur l'électricité*, Gauthier-Villars, Paris, 1883.

STATILE, Glenn, «The necessity of analogy in cartesian science», *The Philosophical Forum*, vol.30, n°3, septembre 199, p.217-232.

Sur les voyages

JANSSEN, Henriette, «Souvenirs d'un voyage aux Nilgherries», *Le Tour du Monde*, 1882, 1, 44, 2è semestre, p.241-250.

LAUNAY F., « Autour de l'éclipse totale de Soleil visible en Inde le 12 décembre 1871. Le voyage du couple Janssen aux Neelgherries «, *L'Astronomie*, vol.111, avril 1997, p.112.

VENAYRE, Sylvain, *La Gloire de l'Aventure, Genèse d'une Mystique Moderne 1850-1940*, Paris, Aubier, 2002.

Sur la physique en France XIX^{ème} siècle – XX^{ème} siècle

« 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001.

« Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°25, février 1995.

ATTEN, Michel, PESTRE, Dominique, « De l'administration des preuves en physique », *La Recherche*, n°312, septembre 1998, p.76-81.

BARBO, Loïc, *Pierre Curie (1859-1906) : le rêve scientifique*, Paris, Belin, 1998

BARBO, Loïc, *Les Becquerel, une dynastie de scientifiques*, Paris, Belin, 2003.

BERGET, Alphonse, «Le nouveau laboratoire des recherches physiques de la Sorbonne», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.21, 1910, p.612.

BOUTAN, Augustin, D'Almeida, Joseph Charles, *Cours élémentaire de physique*, Paris, Dunod, 1874.

BRUHAT, Georges, *Cours d'Optique à l'usage de l'enseignement supérieur*, Paris,Masson et Cie, 1931.

BUIGNET, Henri, *Manipulations de physique : cours de travaux pratiques professé à l'Ecole supérieure de pharmacie de Paris*, Paris, Baillière et fils, 1876.

DAVIS, J.-L., «The influence of astronomy on the character of physics», *Historical Studies in the physical sciences*, 16, 1986, p.59-92.

FOX, Robert, « The rise and fall of Laplacian physics « , *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, 1974, p.89-136.

GALISON, Peter, *L'Empire du Temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Paris, Robert Laffont, 2005.

Histoire de la Physique, Jean Rosmorduc (dir.), Technique et Documentation, Paris, 1987.

HURWIC, Anna, *Pierre Curie*, Paris, Flammarion, 1995.

JOHNSTON, Sean, F., *A History of Light and Measurement*, Londres, Institute of Physics Pblishing, 2001.

MAITTE, Bernard, « Les bricolages prometteurs d'un jeune exilé », in « 1800-1825. Comment la lumière est devenue une onde », *Les Cahiers de Science et Vie*, n°65, octobre 2001, p.60-69.

MAITTE, Bernard, *La lumière*, Paris, Editions du Seuil, 1981.

PESTRE, Dominique, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 2nde édition, 1992.

Physique et Humanités scientifiques. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Etudes et documents, HULIN, Nicole, (dir.), Presses Universitaires du Septentrion, 2000.

POINCARE, Henri, *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1968.

STALEY, R., « The new age of physics : Space Time on a Photographic Plate», *The Cambridge Review*, vol.116, 1995, p.3-12.

VERDET, E., *Leçons d'optique physique*, t.2, Paris, Masson, 1872, p.162-163.

Sur l'observatoire de Meudon

«Large refractor for the Observatory of Meudon», *Astronomical Society of the Pacific*, vol.6, n°34, janvier 1894, p.46.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Paris, Gauthier-Villars, 1914.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, Paris, Gauthier-Villars, 1921.

DESLANDRES, Henri, *Rapport sur l'Observatoire d'Astronomie Physique de Meudon*, S.I., 1926.

DOLLFUS, Audoin, «Le Grand Telescope de Janssen de l'Observatoire de Meudon», *L'Astronomie*, 114, juillet-août 2000, octobre 2000.

DOLLFUS, *La grande lunette de Meudon. Les yeux de la découverte*, Paris, CNRS Editions, 2006.

DURAND-GREVILLE, « L'astronomie physique et l'observatoire de Meudon «, *La Nouvelle Revue*, 1880, A2 T5, p.784-805.

JANSSEN, J., *Annales de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis parc de Meudon*, tome premier, Gauthier-Villars, Paris, 1896.

LAUNAY, Françoise, « Trouvelot à Meudon, une «affaire» et huit pastels », *L'Astronomie*, vol.117, octobre 2003, p.452-461.

La Libre Parole (La France aux français) vendredi 24 mai 1895, *Archives Nationales*, F17 3745

MARTIN, Alexis, *Promenades et Excursions dans les rues de Paris, Région de l'Ouest (Première partie : autour de Saint-Cloud, de Sèvres à Versailles, de Versailles à Marly et Bongival*), Hennuyer. Ed., 1891

MARTRES, Marie-Josèphe, « Meudon sur Ciel », *Bulletin de l'Association Les Amis de Meudon*, n° 231, septembre 2004.

RADAU R., «L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon», *Revue des deux-mondes*, 15 octobre 1900, p.809.

TISSANDIER, Gaston, « La Grande Lunette de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon », *La Nature*, 1896, 24^{e} année, 2eme semestre, p.359-362.

Sur l'observatoire du Mont Blanc

MALHERBE, Jean-Marie, « Janssen et l'Observatoire Astronomique du Mont-Blanc », in *Un siècle d'astronomie dans la revue* L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), , Paris, Vuibert, mai 2003, p.440-443.

MILLOCHAU, G., *De la Terre aux astres*, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.138-145.

RADAU R., «L'Astronomie expérimentale et l'observatoire de Meudon», *Revue des deux-mondes*, 15 octobre 1900, p.809.

SCHRADER, F., « Au Mont Blanc », *Nouvelles géographiques*, n°5, 5 mai 1894, p.65-68.

TISSANDIER, Gaston, «L'Observatoire du Mont-Blanc», *La Nature*, 1893, 21e année, 2ème semestre, p.289-290.

VIVIAN, Robert, *L'épopée Vallot au Mont Blanc*, Denoël, Paris, 1986.

Sur l'astronomie en général

«Le Grand Telescope de l'Observatoire de Paris», *La Nature*, 18 décembre 1875, n°133, p.39-43.

«L'absorption cosmique sélective», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.22, 1911, p.513-514.

BIGOURDAN, G., «Revue annuelle d'astronomie», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.3, 1892, p.52-59.

BIGOURDAN, Guillaume, *L'Astronomie. Evolution des idées et des méthodes*, Paris,Flammarion, 1920.

BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie, Astrophysique*, t.3, Librairie Scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928.

CELNIKIER, Ludwik Marian, *Histoire de l'Astronomie*, Technique et Documentation, Paris, 1986.

CHABERLOT, Frédéric, *La Voie lactée. Histoire des conceptions et des modèles de notre Galaxie des temps anciens aux années 1930*, Paris, CNRS Editions, 2003.

Critique par Maurice HAMY de l'ouvrage de B. BAILLAUD : *Cours d'Astronomie, à l'usage des étudiants des Facultés des Sciences. 2e partie: Astronomie sphérique. Mouvements dans le système solaire. Eléments géographiques. Eclipses. Astronomie moderne.* 1897, p.599.

DANJON, André, COUDERC, André, *Lunettes et télescopes, Théorie, Conditions d'emploi, Description, Réglages*, Paris, Albert Blanchard, 1999, (édition originale 1935).

DAVOUST, Emmanuel, *L'Observatoire du Pic du Midi. Cent ans de vie et de science en haute montagne*, Paris, CNRS Editions, 2000.

DELPORTE, E., DELVOSAL, J., MERLIN, E., PHILIPPOT, H., STROOBANT, P., *Les observatoires astronomiques et les astronomes*, Bruxelles, Hayez, imprimeur de l'observatoire royal de Belgique, 1907.

DEVORKIN, David, «Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.90-108.

Dictionnaire de l'Astronomie, Encyclopaedia Universalis et Albin Michel, Paris, 1999.

FEHRENBACH, Charles, *Des hommes, des télescopes, des étoiles*, Paris, Editions du CNRS, 1990.

FERRIS, Thimothy, *Histoire du Cosmos, de l'Antiquité au Big-Bang*, Paris, Hachette, 1992.

FEURTET, Jean-Marie, *Le Bureau des Longitudes (1795-1854). De Lalande à Le Verrier*, thèse de l'Ecole des Chartes soutenue le 17 mars 2005.

FLAMMARION, Camille, «Les plus grands télescopes du monde», *La Nature*, 1873, p.277-280, 307-310, 370-375.

FLAMMARION, Camille, *Astronomie Populaire*,1880.

GISPERT, Jacques, *Cours élémentaire d'Astronomie Générale*, http://www.dil.univmrs.fr/~gispert/enseignement/astronomie/2eme_partie/cosmogonie.html

GUILLEMIN, Amédée, *Le Ciel*, Paris, Hachette, 5ème édition, 1877.

GUILLEMIN, Amédée, *Les étoiles*, Paris, Hachette, 1884.

HEARNSHAW, J.B., *The Analysis of Starlight, 150 years of astronomical spectroscopy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

HEARNSHAW, J.B., *The Measurement of Starlight, Two centuries of Astronomical Photometry* , Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

HENROTEAU, F., *Les Etoiles Simples*, Paris, Gaston Doin Editeur, 1921.

La Carte du Ciel, Correspondance Inédite Conservée dans les Archives de l'Observatoire de Paris, Observatoire de Paris, 1999.

LACHIEZE-REY, Marc, *Initiation à la cosmologie*, Paris, Masson, 1992.

Les observatoires astronomiques et les astronomes, Gembloux éditeur, 1936.

RADAU, R., «Les progrès de l'astronomie stellaire», *Revue des deux-mondes*, 3e série, t.11, 1875, p.626.

STROOBANT, Paul, *Les observatoires astronomiques et les astronomes*, Paris, Casterman, 1931.

The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

Un siècle d'astronomie dans la revue L'Astronomie, DOLLFUS, Audouin (dir.), , Paris, Vuibert, mai 2003

VERON, Philippe, *Dictionnaire des astronomes français*, non publié.

Sur le Soleil

BARTHOLOMEU, C.-F., « The discovery of the Solar Granulation », *Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 1976, vol.17, p.263-289.

BOSLER, Jean, *Les Théories Modernes du Soleil*, Paris, Doin et Fils Editeurs, 1910

BRUHAT, Georges, *Le Soleil. Nouvelle édition revue et mise à jour par Lucien d'Azambuja*, Paris, Presses Universitaires de France, 1951.

«Congrès International pour les études solaires», *Revue Générale des Sciences Pures et Apppliquées*, t.24, 1907, p.347

DESLANDRES, Henri, « Histoire des idées et des recherches sur le Soleil », *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1907, pp. C1-C146.

GEORGELIN, Yvon, ARZANO, Simone, « L'éclipse de Soleil du 18 août 1868. Stephan, Rayet, hôtes du roi de Siam à Wha-Tonne », *L'Astronomie*, vol.113, janvier-février 1999, p.12-17.

GUILLEMIN, Amédée, *Le Soleil*, Paris, Hachette, 1880.

HUFBAUER, Karl, *Exploring the Sun, Solar Science since Galileo*, Baltimore et Londres, Johns Hopkins University Press, 1993.

LANTOS, Pierre, *Le Soleil*, Que Sais-je n° 230, Paris, PUF, 1994.

ROTHERMEL, Holly, « Images of the sun : Warren de la Rue, George Bidell Airy and celestial photography », *British Journal for the History of Science*, vol.26,1993, p.137-169.

STONEY, Johnstone, « On the Solar Eclipse of August 1868 », *MNRAS*, vol. 28, 1867, p.18.

TISSANDIER, Gaston, «L'expédition française pour l'observation de l'éclipse solaire du 6-7 mai 1883 «, *La Nature*, 1883, 11e année, 1er semestre, p.240.

De l'Astronomie Physique à l'Astrophysique

GAMACHES, Etienne-Simon de, *Astronomie Physique, ou Principes Généraux de la Nature, appliqués au mécanisme astronomique, et comparés aux principes de la philosophie de M. Newton*, C.-A. Jombert, Paris, 1740.

BIOT, Jean-Baptiste, *Traité élémentaire d'astronomie physique*, Paris, 1810, 2nde édition.

TOWNE, Gelion, *Astronomie, astrophysique, géodésie, topographie et photogrammétrie pratique, avec méthodes d'observations et exemples numériques…à l'usage des astronomes amateurs, des explorateurs, des ingénieurs civils et militaires, des topographes, des officiers de l'armée et des gens du monde*, E. Bertaux, 1896.

CLERKE, Agnes M., *Problems in astrophysics*, Adam & Charles Black, Londres, 1903.

BOSLER, Jean, *Cours d'Astronomie. III Astrophysique*, Librairie scientifique Hermann et Cie, Paris, 1928.

BRUNET, Pierre, « Note sur l'expression 'Astronomie Physique' », *L'Astronomie*, 1932, p.99-100.

HOULLEVIGUE, Louis, *Problèmes actuels de l'Astrophysique*, Armand Colin, Paris, 1935.

FABRY, Charles, *Physique et Astrophysique*, Flammarion, Paris, 1935.

BARBIER, Daniel, *Les atmosphères stellaires*, Flammarion, Paris, 1952.

PECKER, J.C., SCHATZMAN, Evry, *Astrophysique Générale*, Masson et Cie, Paris, 1959.

Eléments d'études nationales sur le développement de l'Astronomie Physique

100 years of observational astronomy and astrophysics: a collection of papers on the history of observational astrophysics : homage to Miklós Konkoly Thege (1842-1916), Christiaan STERKEN, Christian, HEARNSHAW, John B. (dir.), Bruxelles, Vrije Univeriteit Brussel, 1999 (?)

« International Co-operation in Solar Research », *Astrophysical Journal*, vol.20, décembre 1904, p.301-346.

« Henri Draper », *La Nature*, 1883, 11e année, 1er semestre, p.39

AITKEN, Robert G., « William Wallace Campbell 1862-1938 », *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.50, n°296, p.204-209.

BECKER, Barbara, « Visionary Memories : William Huggins and the Origins of Astrophysics », *Journal for the History of Astronomy*, 2001, vol.32, fasc. 1, p.43-62.

BOSLER, Jean, «Les récents progrès des méthodes astrophysiques aux Etats-Unis», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.22, 1911, p.102-113.

DEVORKIN, David, «Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram», *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, p.90-108.

DOEL, Ronald, *Solar system astronomy in America : communities, patronage, and interdisciplinary science, 1920-1960*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996

HALE, G., « The Astrophysical Journal », *The Astrophysical Journal*, vol.1, 1895, p.80-84.

JONES, D.H.P., « Was the Carte du Ciel an obstruction to the development of astrophysics in Europe », in HECK, André, *Information handling in astronomy-historical vistas*, Kluwer Academic Publishers, 2003, p.267-273

KEELER, James E., The importance of astrophysical research and the relation of astrophysics to other sciences", *The Astrophysical Journal*, vol.6, 1897, p.271-288.

LAMY, Jérôme, *Archéologie d'un espace savant. L'observatoire de Toulouse aux 18ème et 19ème siècle : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, thèse de doctorat, EHESS, 2004.

LANKFORD, John, « Amateurs and astrophysics : A Neglected Aspect in the Development of a Scientific Specialty», *Social Studies of Science*, 11, 1981, p.275-303.

LANKFORD, John, *American Astronomy, Community, Careers and Power, 1859-1940*, University of Chicago Press, Chicago and London, 1997.

MAISON, Laetitia, « Les observatoires italiens en 1875 : un exemple pour le renouveau de l'astronomie française ? », *Nuncius*, vol.18, fasc.2, 2003.

MAISON, Laetitia, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, thèse doctorat, Université de Bordeaux 1, 2004.

MEADOWS, A. J., « The origins of astrophysics », in *The General History of Astronomy, vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.3-16.

MEADOWS, A. J., « The new astronomy », in *The General History of Astronomy*, *vol.4, Astrophysics and twentieth century astronomy to 1950, part A*, GINGERICH, Owen (dir.), Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p.59-72.

MERRIL, Paul, W., « William Wallace Campbell », *MNRAS* , vol.99, 1939, p.317-321.

MOORE, J.H., «William Wallace Campbell», *The Astrophysical Journal*, vol.89, 1939, p.143-151.

NORDMANN, Charles, «Fondation d'un observatoire astrophysique en Espagne», *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, t.15, 1904, p.474.

OSTERBROCK, Donald E., «Founded in 1895 by George E. Hale and James E. Keeler : the *Astrophysical Journal* centennial», *The Astrophysical Journal*, vol.438, 1995, pp.1-7.

PRITCHARD, Charles, « The new Savilian Observatory for Astronomical Physics at Oxford », *MNRAS* , vol.34, 1873, p.49-54.

PRITCHARD, Charles, « The University Observatory at Oxford », *MNRAS*, vol.36, 1875, p.1-5 ; *Astronomical Observations made at the University Observatory, Oxford*, 1878, p.iii-vi ;

« Charles Pritchard », *MNRAS*, vol.54, 1894, p.198-204

« Rev. Charles Pritchard », *The Observatory*, vol.16, 1893, p.256-259.

SAINT-MARTIN, Arnaud, « La phase critique de la Carte du Ciel à Paris, 1920-1940 », in LAMY, Jérôme, *La Carte du Ciel*, Paris, EDP Sciences, à paraître.

SCHAFFER, Simon, « Where experiments end : tabletop trials in Victorian astronomy », in *Scientific practice : theories ans stories of doing physics*, Chicago & London , The University of Chicago Press, 1995, p. 257-299.

VERON, Philippe, «Préhistoire de l'Observatoire de Haute Provence», *Colloque Observatoires et patrimoine astronomique français*, Nantes, 8-9 juin 2001, www.obs-hp.fr/www/preprints/pp156/pp156.pdf

Sur l'International Union for Cooperation in Solar Research

The Observatory, octobre 1905, vol.28, p382-387 (sur Oxford 1905).

The Observatory, juin 1907, vol.30, p.243-245 (sur Meudon 1907).

MNRAS, décembre 1907, vol.68, p.98 : by H.H. Turner, papers of the IUSR Computing Bureau.

MNRAS, février 1908, vol.68, p.295-297 (sur Meudon 1907).

Sur les institutions

CHARLE, Christophe, « Produire et diffuser les idées. Les arcanes de la reconnaissance universitaire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Auxerre, Sciences Humaines Editions, 1997, p.21-30.

DORRIES, Matthias, «Easy Transit : Crossing Boundaries and Chemistry in mid-Nineteenth Century France», in SMITH, Crosbie, AGAR, Jon (dir), *Making Space for Science*, Manchester, 1998, p.246-262.

FOX, Robert, « Scientific enterprise and the patronage of research in France, 1800-1870 », in FOX, R., TURNER, G. L'Estrange, *The patronage of science in the nineteenth century*, Noordhoff International Publishing, Leyden, 1976.

FOX, Robert, GUAGNINI, Anna, « Laboratories, workshops, and sites. Concepts and practices of research in industrial Europe, 1800-1914 «, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 29 (1998-1999).

HULIN, Nicole, « Un pôle scientifique. La section des sciences de l'Ecole normale supérieure. Quelques jalons de son histoire », in *Livre du Bicentenaire de l'Ecole normale supérieure*, SIRINELLI, J.F. (dir.), Paris, PUF, 1994.

La Formation Polytechnicienne, 1794-1994, BELHOSTE, B., DAHAN DALMEDICO, A., PICON, A., (dir.), Paris, Dunod, 1994.

PESTRE, Dominique, « Lieux de sciences », numéro spécial de *La Recherche*, coordonné par Dominique Pestre, n°300, juillet-août 1997, p.26-27.

PESTRE, Dominique, « Les sciences et l'histoire aujourd'hui », *Le Débat*, novembre-décembre 1998, p.53-68.

PESTRE, Dominique, *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*. Paris, INRA, 2003.

SHINN, Terry, *L'Ecole Polytechnique : 1794-1914*, Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 1980.

SHINN, Terry, « La science en France », *1975-1999, Sociologie et société*, 32, n°1, printemps 2000.

SHINN, Terry, « Progress and paradoxes in the French science and technology 1900-1930 «, *Social Science Information*, vol.28, 1989, p.659-683.

The organization of science and technology in France 1808-1914, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambridge, Cambride University Press, Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980.

ZWERLING, Craig, « The emergence of the Ecole Normale Superieure as a centre of scientific education in nineteenth-century », in *The organization of science and technology in France 1808-1914*, FOX, Robert, WEISZ, George (dir.), Cambridge, Cambride University Press, Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 1980, p.31-60.

Sur le XIX^{ème} siècle

ALBERTINI, Pierre, *L'Ecole en France XIXè-Xxè siècle, de la Maternelle à l'Université,* Paris, Hachette, 1992.

ANIZAN, Anne-Laure, *Paul Painlevé (1863-1933). Un scientifique en politique*, thèse soutenue le 13 juin 2006 à l'Institut d'Etudes Politiques de Paris.

CHARLES, Christophe, *Les Intellectuels en Europe au XIXème siècle,* Editions du Seuil, 1996.

CHARLE, Christophe, « Produire et diffuser les idées. Les arcanes de la reconnaissance universitaire », in *L'histoire aujourd'hui*, RUANO-BORBALAN, Jean-Claude (dir.), Auxerre, Sciences Humaines Editions, 1997, p.21-30.

FLAMMARION, Camille, *Mémoires Biographiques et philosophiques d'un astronome,* 1912.

HULIN-JUNG, Nicole, *L'Organisation de l'Enseignement des Sciences,* Paris, Editions du CHTS, 1989.

LEON, Antoine, *Histoire de l'enseignement en France*, Paris, Puf, Collection Que sais-je ?, 1967.

MARTIN-FUGIER, Anne, *Les Salons de la III^{e} République, Art, Littérature, Politique*, Paris, Perrin, 2003.

MARNOT, Bruno, *Les Ingénieurs au Parlement sous la III^{ème} République*, Paris, CNRS Editions, 2000.

MELONIO, Françoise, *Naissance et affirmation d'une culture nationale, la France de 1815 à 1880*, Paris, Editions du Seuil, 1998.

NIQUE, Christian, LELIEVRE, Claude, *Histoire Biographique de l'Enseignement en France*, Paris, Editions Retz, 1900.

NYE, Mary Jo, *Sciences in the Provinces, Scientific Communities and Provincial Lleadership in France, 1860-1930*, University of California Press, 1986.

PAPILLON, Fernand, « Les laboratoires en France et à l'étranger », *Revue des deux-mondes*, 2e série, t.94, 1871, p.594-609.

«Par la science, pour la patrie», L'Association Française pour l' Avancement des Sciences (1872-1914), Un projet Politique pour une Société Savante, GISPERT, Hélène (dir.), Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002

ROSANVALLON, Pierre, *L'Etat en France de 1789 à nos jours*, Paris, Editions du Seuil, 1990.

THOMAS, André, *La Société Philomathique de Paris et Deux Siècles d'histoire de la Science en France*,Colloque du Bicentenaire de la Société Philomathique de Paris, Paris, PUF, 1990.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES