

La mécanique de newton

Nous commençons par quelques extraits des « Principia » de Newton de façon, d'une part à exposer les trois lois de Newton, et d'autre part à montrer l'évolution de la « place » accordée à l'énoncé de ces lois, depuis l'origine jusqu'à nos jours. Il s'agit donc de mettre en lumière quelques évolutions temporelles des énoncés de ces lois. Le lecteur pourra, à travers cette première partie, s'imprégner des différences (dont on ne cherche pas à identifier les origines avec précision) dans les énoncés des lois de Newton avec deux livres « récents ». Nous avons choisi ces deux livres parmi ceux destinés aux étudiants de CPGE, qui reflètent peu ou prou, les choix de présentation des lois précitées, de la majorité des autres ouvrages :

- L'un de mécanique, issu d'une série de huit ouvrages de référence couvrant la totalité du programme des deux années de CPGE, paru en 1985, bien connus des agrégatifs des années 90 (et des autres) : les « Bertin-Faroux-Renault (B.F.R.) ».
- L'autre « généraliste » qui couvre en un seul volume, la totalité du programme de première année de CPGE (c'est la tendance actuelle, certains allant même jusqu'à couvrir l'ensemble des programmes de plusieurs disciplines) : « physique PCSI » de Bauduin paru en 2017, donc concernant les « nouveaux étudiants ».

Ces extraits, ne préjugent en rien de la qualité des ouvrages concernés, mais nous permettent seulement de rendre compte de l'évolution des énoncés concernant les lois de Newton qui sont au cœur de notre test conceptuel. On peut remarquer en particulier la puissance du langage mathématique utilisé et surtout la complexité des informations contenues dans ce dernier.

1.1. Extraits¹² des principes mathématiques de la philosophie naturelle (Edition de 1726 traduit par Gabrielle Emilie de Breteuil, Marquise du Châtelet réédité en 2005)

Remarque préliminaire : nous ne reprenons pas ici, l'intégralité des vingt-quatre premières pages, qui sont consacrées à la présentation des trois lois avec bon nombre de « mise en garde » quant à l'utilisation de ces lois.

➤ Extraits pris parmi les définitions (p. 3 et 4)

Définition III :

La force qui réside dans la matière (vis insita) est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite.

Cette force est toujours proportionnelle à la quantité de matière des corps, et elle ne diffère de ce qu'on appelle *l'inertie de la matière*, que par la manière de la concevoir : car l'inertie est ce qui fait qu'on ne peut changer sans effort l'état actuel d'un corps, soit qu'il se meuve, soit qu'il soit en repos, ainsi on peut donner à la force qui réside dans les corps le nom très expressif de *force d'inertie*. Le corps exerce cette force toutes les fois qu'il s'agit de changer son état actuel, et on peut la considérer alors sous deux différents aspects, ou comme résistante, ou comme impulsive : comme résistante, en tant que le corps s'oppose à la force qui tend à lui faire changer d'état ; comme impulsive, en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste. On attribue communément la résistance aux corps en repos ; et la force impulsive à ceux qui se meuvent ; mais le mouvement et le repos, tels qu'on les conçoit communément, ne sont que respectifs : car les corps qu'on croit en repos ne sont pas toujours dans un repos absolu.

Définition IV :

La force imprimée (vis impressa) est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite.

Cette force consiste uniquement dans l'action, et elle ne subsiste plus dans le corps dès que l'action vient à cesser. Mais le corps persévère par sa seule force d'inertie dans le nouvel état dans lequel il se trouve. La force imprimée peut avoir diverses origines, elle peut être produite par le choc, par la pression, et par la force centripète.

¹² Crédits et copyrights : NEWTON, Principia - Principes mathématiques de la philosophie naturelle, © Dunod, 2011, Paris

➤ Extraits pris parmi les axiomes (p. 13 et 14)

Première loi

Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état.

Les projectiles par eux-mêmes persévèrent dans leurs mouvements, mais la résistance de l'air les retarde, et la force de la gravité les porte vers la Terre. Une toupie, dont les parties se détournent continuellement les unes les autres de la ligne droite par leur cohérence réciproque, ne cesse de tourner, que parce que la résistance de l'air la retarde peu à peu. Les planètes et les comètes qui sont de plus grandes masses, et qui se meuvent dans des espaces moins résistants, conservent plus longtemps leurs mouvements progressifs et circulaires.

Loi II

Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée.

Si une force produit un mouvement quelconque, une force double de cette première produira un mouvement double, et une force triple un mouvement triple, soit qu'elle est été imprimée en un seul coup, soit qu'elle l'ait été peu à peu et successivement, et ce mouvement, étant toujours déterminé du même côté que la force génératrice, sera ajouté au mouvement que le corps est supposé avoir déjà, s'il conspire avec lui ; ou en sera, retranché, s'il lui est contraire, ou bien sera retranché ou ajouté en partie, s'il lui est oblique ; et de ces deux mouvements il s'en formera un seul, dont la détermination sera composée des deux premières.

Loi III

L'action est toujours égale et opposée à la réaction ; c'est-à-dire, que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires.

Tout corps qui presse ou tire un autre corps est en même temps tiré ou pressé lui-même par cet autre corps. Si on presse une pierre avec le doigt, le doigt est pressé en même temps par la pierre. Si un cheval tire une pierre par le moyen d'une corde, il est également tiré par la pierre : car la corde qui les joint et qui est tendue des deux côtés, fait un effort égal pour tirer la pierre vers le cheval, et le cheval

vers la pierre ; et cet effort s'oppose autant au mouvement de l'un, qu'il excite le mouvement de l'autre.

Si un corps en frappe un autre, et qu'il change son mouvement, de quelque façon que ce soit, le mouvement du corps choquant sera aussi changé de la même quantité et dans une direction contraire par la force du corps choqué, à cause de l'égalité de leur pression mutuelle.

Par ces actions mutuelles, il se fait des changements égaux, non pas de vitesse, mais de mouvement, pourvu qu'il ne s'y mêle aucune cause étrangère ; car les changements de vitesse qui se font de la même manière dans des directions contraires doivent être réciproquement proportionnels aux masses, à cause que les changements de mouvement sont égaux. Cette loi a lieu aussi dans les attractions, comme je le prouverai dans le scholie suivant.

- Extrait pris parmi les corollaires (p. 19)

COROLLAIRE V

Les mouvements des corps enfermés dans un espace quelconque sont les mêmes entre eux, soit que cet espace soit en repos, soit qu'il se meuvent uniformément en ligne droite sans mouvement circulaire.

- Commentaires :

On remarquera que Newton considère deux types de forces dans ses définitions :

- Vis insita pour la force qui réside dans la matière
- Vis impressa pour la force imprimée

La deuxième est l'analogue de la résultante des forces d'interaction que nous considérons aujourd'hui. La première est plus troublante, puisqu'il prétend qu'une force réside dans la matière, en d'autres termes que la force d'inertie appartient à l'objet étudié. Il termine par amorcer la notion de référentiel en précisant que « *les corps qu'on croit en repos ne sont pas toujours dans un repos absolu* » dans la définition III. L'existence d'une classe particulière de référentiels se retrouve dans son corollaire V. L'idée qu'une force réside dans la matière revient régulièrement chez les étudiants. Nous y revenons dans la deuxième partie au chapitre 6.

1.2. Extraits¹³ du manuel « Mécanique 1 » de Bertin et al. (1985) p. 42 à 45, 49 et 50

Référentiels galiléens et principe d'inertie

Il existe des référentiels privilégiés dans lesquels le mouvement d'un point isolé est rectiligne et uniforme. On les appelle référentiels d'inertie ou référentiels galiléens.

Ainsi s'énonce le principe d'inertie qui, comme tout principe, ne se démontre pas, mais appelle quelques commentaires.

La propriété ci-dessus constitue une *définition* des référentiels galiléens, et le principe d'inertie *postule* leur existence. La question de savoir si l'on peut trouver effectivement de tels référentiels dans la nature sera abordée tout à l'heure.

Insistons un peu sur le contenu physique de ce principe : observons un point matériel isolé : il est évident que l'on peut trouver (d'une infinité de manières) un référentiel (R) dans lequel ce point est animé d'un mouvement rectiligne uniforme ; ce que le principe d'inertie postule c'est que, dans (R), tout point matériel isolé a nécessairement un mouvement rectiligne uniforme. Le principe d'inertie postule donc bien l'existence – non triviale – des référentiels galiléens, et ne se réduit pas à une simple définition.

Enfin le caractère « privilégié » des référentiels galiléens, souligné par l'énoncé du principe d'inertie, apparaît dans le fait que les lois de la mécanique, et notamment le principe fondamental (§ 5), ne sont valables que dans de tels référentiels. C'est alors en cherchant à vérifier *expérimentalement* la validité du principe fondamental qu'il sera possible de construire concrètement des référentiels galiléens, c'est-à-dire de les définir à l'aide de corps existant réellement dans l'espace physique. La question sera examinée avec plus de détails au chapitre 6 : nous donnerons ici seulement le résultat. Par *approximations successives* on arrive à la conclusion que les lois de la mécanique sont valables dans le référentiel de Copernic.

Le référentiel de Copernic a, par définition, son origine au barycentre du système solaire ; ses axes sont définis par les directions de trois étoiles très éloignées (dites « fixes »).

Nous admettrons pour l'instant que le barycentre du système solaire coïncide approximativement avec le centre du Soleil. Notons tout de suite qu'à partir du référentiel de Copernic on peut définir une infinité de référentiels galiléens. En effet soit $\mathbf{v}$ la vitesse d'un point isolé dans le référentiel de Copernic (R), et soit (R') un autre référentiel animé par rapport à (R) d'un mouvement de translation uniforme de vitesse $\mathbf{V}$. En vertu de la loi de composition des vitesses (§ 4. Chap. 3), le point aura dans (R') une vitesse $\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{V}$, où $\mathbf{V}$ joue le rôle de vitesse d'entraînement (constante par hypothèse). Si $\mathbf{v}$ est

¹³ Crédits et copyrights : BERTIN, FAROUX, RENAULT, Mécanique 1, mécanique classique de systèmes de points et notions de relativité, © Dunod, 1985, Paris

constante, il en résulte que $\mathbf{v}'$ est aussi constante. Comme on peut donner à V une valeur quelconque, on trouve donc l'important résultat suivant :

Il existe une infinité de référentiels galiléens, tous animés par rapport au référentiel de Copernic d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme.

Tout revient donc à dire que les référentiels galiléens sont ceux animés d'un mouvement de translation rectiligne uniforme *par rapport aux étoiles de la Galaxie*. Mais insistons bien sur le fait qu'il s'agit d'une approximation, la meilleure que nous connaissons actuellement.

Remarque

De nombreuses expériences sont faites sur la Terre. Or tout référentiel lié à la Terre (ou à un laboratoire) n'est pas galiléen puisque celle-ci *tourne par rapport aux étoiles*. Néanmoins pour la plupart des applications pratiques qui ne réclament pas une très grande précision, l'expérience montre qu'un référentiel terrestre peut être regardé comme galiléen avec une approximation suffisante. Pour tous les problèmes abordés jusqu'au chapitre 5 inclus, et pour lesquels les effets liés à la rotation de la Terre peuvent être négligés, nous ferons toujours implicitement cette approximation, sans avoir à le rappeler à chaque fois.

Notion de force

Considérons un point dont le mouvement n'est pas rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen (son accélération est différente de zéro). Pour expliquer un tel mouvement on admet que le point n'est pas isolé : il est soumis à une interaction (*). L'expérience montre que toutes les interactions peuvent être décrites par une grandeur vectorielle que nous appellerons « force ».

[\[Note de bas de page\]](#) (*) Attention : la réciproque n'est pas toujours vraie ; il peut se faire qu'on observe un mouvement rectiligne uniforme si le point est soumis à plusieurs interactions qui se compensent (le mouvement d'un palet sur une table à coussin d'air est rectiligne et uniforme car le poids est compensé par la réaction de la table).

Le caractère vectoriel de la force apparaîtra dans les exemples familiers suivants. Lâchons un corps sans vitesse initiale : il tombe suivant la verticale descendante, qui définit donc la direction et le sens de la force décrivant l'attraction de la Terre sur le corps (poids). Faisons passer un faisceau d'électrons entre les plaques d'un condensateur plan chargé : le faisceau est dévié, et il est possible d'expliquer cette déviation par une force perpendiculaire aux plaques et dirigée vers la plaque positive.

De plus l'expérience, et notamment l'étude de la statique montre que *les forces se composent suivant la règle du parallélogramme*. Ainsi si un point est soumis simultanément à plusieurs interactions on

peut décrire globalement son interaction avec le reste de l'univers par une seule force obtenue en faisant la somme vectorielle des diverses forces qui s'exercent sur ce point.

Tout cela reste bien entendu pour l'instant assez qualitatif : les lois physiques élémentaires devront préciser, pour chaque type d'interaction rencontré dans la nature, les éléments du vecteur force (direction, sens et intensité). Nous aurons l'occasion d'y revenir et retiendrons pour l'instant la définition suivante.

On appelle force la grandeur vectorielle décrivant une interaction capable de produire ou de modifier un mouvement, ou encore de créer une déformation.

Principe fondamental de la dynamique du point

Comme nous venons de voir, dans un référentiel galiléen une modification de la vitesse d'un point doit être attribuée à une cause : la force f agissant sur le point. Encore faut-il tenir compte de l'inertie du point sur lequel s'exerce la force en question ; la variation de la quantité de mouvement correspond à cette idée. Newton en a fait le principe fondamental de la dynamique du point qui s'énonce :

Dans un référentiel galiléen la force qui s'exerce sur un point matériel est égale à la dérivée par rapport au temps du vecteur quantité de mouvement, soit :

$$\mathbf{f} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$$

Il faut bien comprendre que cette relation identifie un terme *physique*, la force f traduisant l'interaction du point avec le milieu ambiant, avec le terme *cinétique* $d\mathbf{p}/dt$, et que c'est dans cette identification que réside le principe fondamental. Pour chaque type d'interaction les lois physiques élémentaires devront préciser comment la force f peut se calculer en fonction des caractéristiques du point et de son environnement. Nous allons y revenir au paragraphe suivant.

Ce principe fondamental (ou loi fondamentale de la mécanique) est valable dans un référentiel galiléen ; il donne une détermination de la force lorsque le mouvement est connu, ou la loi du mouvement dans un champ de forces connu. Des applications sont développées au chapitre suivant.

Remarque importante

La relation précédente détermine aussi le mouvement du centre d'inertie d'un système (cf. théorème de la résultante cinétique, chap. 8, § 6). V est alors la vitesse du centre d'inertie dans le référentiel considéré, m la masse de ce système et f la résultante des forces extérieures à ce système.

Si la masse du système est constante :

$$d\mathbf{p}/dt = m d\mathbf{v}/dt = m\mathbf{y}.$$

Le principe fondamental peut donc s'écrire dans ce cas :

$$\mathbf{f} = m\mathbf{y}$$

Cette relation s'applique à la plupart des problèmes pratiques. Mais si la masse n'est pas constante (ce qui est le cas pour une fusée) il faut revenir à la relation $\mathbf{f} = d\mathbf{p}/dt$, *que l'on doit appliquer avec précaution à un système bien défini pour obtenir l'équation du mouvement* (cf. chap. 8, § 6).

Dans le système international, l'unité de force est le newton (symbole N) : $1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m.s}^{-2}$.

[...coupure d'un paragraphe de 4 à 5 pages sur les interactions fondamentales...]

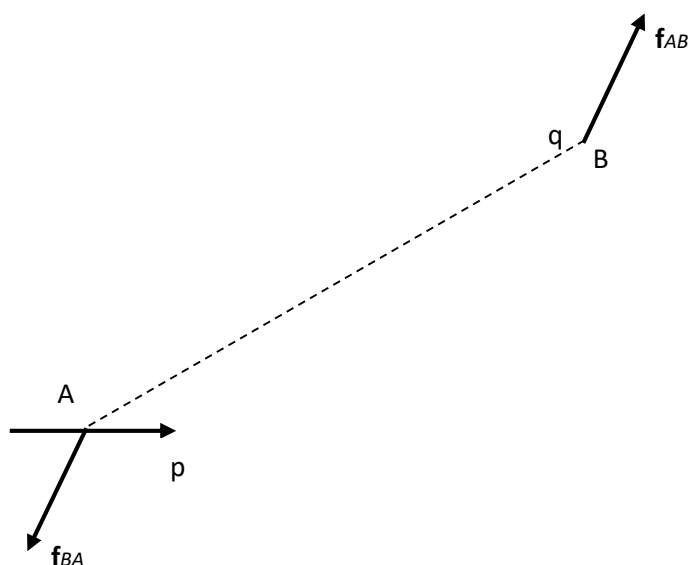
Principe de l'action et de la réaction

Considérons deux points matériels A et B en interaction. Désignons par $\mathbf{f}_{AB}$ la force exercée par le point A sur le point B et par $\mathbf{f}_{BA}$ la force exercée par B sur A ; le principe de l'action et de la réaction stipule que ces deux forces sont opposées et égale en module, ce qui se traduit par la relation :

$$\mathbf{f}_{AB} = -\mathbf{f}_{BA}$$

De plus, s'il s'agit bien de points matériels, le problème physique est invariant vis-à-vis d'une rotation autour de la droite AB , donc $\mathbf{f}_{AB}$ et $\mathbf{f}_{BA}$ sont portés par la droite AB .

Remarquons que si en A nous plaçons un dipôle électrostatique et en B une charge ponctuelle, les conditions précédentes ne sont plus respectées : un dipôle n'est pas un point matériel et sa description nécessite la donnée de son orientation. Ainsi le dipôle $\mathbf{p}$ de la figure 2 exerce sur la charge positive q placée en B une force $\mathbf{f}_{AB}$ qui est bien opposée et égale en module à $\mathbf{f}_{BA}$, mais n'est pas portée par AB .



Action et réaction entre un dipôle et une charge ponctuelle.

En outre on ne peut plus donner de sens au principe de l'action et de la réaction lorsque les interactions ne se propagent pas instantanément. La portée de ce principe n'est donc pas d'une très grande généralité.

1.3. Extraits¹⁴ du manuel « Physique PCSI » de Bauduin et al. (2017) p. 306 et 307

1^{ère} loi de Newton : le principe d'inertie

Il existe des référentiels privilégiés dans lesquels tout point matériel M isolé (ou pseudo-isolé) est en mouvement de translation rectiligne uniforme. De tels référentiels sont dits galiléens.

Un point matériel est dit isolé lorsqu'il n'est soumis à aucune force et pseudo-isolé si la résultante des forces qui lui sont appliquées est nulle.

¹⁴ Crédits et copyrights : BAUDUIN, BARS, COUSIN, JOSSE ET AL., Physique PCSI, © Dunod, 2017, Malakoff

Lorsqu'un référentiel R2 est en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel R1 galiléen, alors il est lui-même galiléen. Le référentiel terrestre lié au sol peut souvent être considéré comme galiléen, en première approche et pour des expériences de courte durée devant la période de rotation propre de la Terre (24h).

2^{ème} loi de Newton : la loi de la quantité de mouvement

Soit un système constitué d'un point, de plusieurs points ou d'un solide et $\vec{p}$ sa quantité de mouvement dans un référentiel d'étude R galiléen. Si on note $\vec{F}_{ext}$ la résultante des forces extérieures appliquées au système alors :

$$\left. \frac{d\vec{p}}{dt} \right|_R = \vec{F}_{ext} = \sum_i \vec{F}_i$$

[...coupure d'un paragraphe d'une page environ sur la quantité de mouvement...]

3^{ème} loi de Newton : la loi des actions réciproques

Si deux points matériels M_1 et M_2 sont en interaction, les forces $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ et $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ respectivement exercées par M_1 sur M_2 et par M_2 sur M_1 sont telles que $\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ et ces deux forces sont portées par la droite M_1M_2 .

1.4. Conclusion

1.4.1. Une tendance au minimalisme dans la formulation ?

On remarque une tendance, à une diminution très nette, des explications dans le langage naturel (le français ici). Le langage mathématique, avec la notation vectorielle, nous permet cela. Or il semblerait qu'il existe une corrélation entre l'usage de différents registres sémiotiques et la « qualité » des apprentissages (Duval, 1995). L'usage de trois registres

sémiotiques (langage maternelle, langage mathématique symbolique avec l'utilisation des vecteurs et la schématisation) semblerait donc utile, à un meilleur apprentissage, pour le plus grand nombre d'étudiants.

Dans les Principia, ouvrage de référence « absolu » concernant la mécanique de Newton, à la suite des vingt-quatre premières pages qui contiennent les définitions et les énoncés des trois lois, on trouve de nombreux exemples fortement illustrés avec des schémas. Il s'agit du traité « original » qui n'est pas un ouvrage destiné à l'enseignement de ces notions ; il est donc normal que celui-ci subisse des adaptations lorsqu'on vise l'apprentissage de ces lois. Nous insistons sur le fait qu'il ne s'agit pas de comparer directement la quantité contenue dans cet ouvrage aux deux autres, mais que celui-ci est pris comme référence dans la façon d'énoncer les trois lois de Newton.

Dans le BFR de mécanique, ouvrage de référence pour la majorité d'une génération d'agrégatifs¹⁵, nous trouvons un « équilibre » entre langage naturel et langage mathématique et peu de schémas (utilisation de trois registres sémiotiques). Les vecteurs sont écrits en caractères gras ; il s'agissait d'une convention d'écriture répandue dans les ouvrages de cette époque. Les commentaires sur les trois lois, en langage naturel, sont « très » présents, ce qui est à l'image de ce que l'on peut trouver dans les autres ouvrages des années « 80 ». Tout se passe comme si, le contenu des ouvrages suit une mode.

Dans le dernier ouvrage de physique, il semblerait que le langage mathématique, avec la notation vectorielle, ait été privilégié pour pouvoir « condenser » les énoncés. De nombreux sites internet, très utilisés actuellement par les enseignants et les étudiants, adoptent également ce type de présentation des lois de Newton, ce qui traduit pour nous, une tendance partagée par le plus grand nombre, au début de ce nouveau siècle, qui constituerait la mode actuelle.

Il semblerait que cette tendance à « condenser » les énoncés soit plus générale, et qu'elle pourrait être observée chez les enseignants, au sein de leurs cours, peut-être à cause de contraintes temporelles, que s'imposent les enseignants universitaires, imposées par l'institution à travers les programmes officiels pour les autres. Cette tendance résonne avec les tensions chez les enseignants indiquées dans cette partie (cf. paragraphe 3.4). Une réflexion sur les conséquences didactiques, de ces choix hypothétiques pour l'heure, conforme à l'évolution des programmes officiels, nous semble être une piste intéressante à

¹⁵ Aujourd'hui, ces agrégatifs sont, pour la plupart, enseignants en CPGE ou en Lycée

explorer afin d'éclairer les institutions sur ce qui est préférable pour les « nouveaux étudiants » qui s'engagent dans une formation scientifique :

⇒ **L'utilisation des vecteurs qui est, en partie « responsable » du raccourcissement des énoncés, et/ou le temps consacré par l'enseignant à l'exposé de ces énoncés, représenterait peut-être une « difficulté » rencontrée par les étudiants, sous-estimée par les enseignants et l'institution. Est-ce au profit d'une culture scientifique plus étendue ? Est-ce au détriment d'une maîtrise des concepts fondamentaux ? Qu'en pensent les enseignants du supérieur ? Nous donnons des éléments de réponse à ces questions dans la deuxième partie au chapitre 6 et dans la troisième partie au chapitre 9.**

Cette interrogation n'est pas sans lien avec le développement de l'attitude critique des étudiants, tant attendu, qui figure dans la plupart des programmes du secondaire, des CPGE ainsi que dans le dernier rapport de la Commission Européenne.

« to develop the competencies for problem-solving and innovation, as well as analytical and critical thinking that are necessary to empower citizens to lead personally fulfilling, socially responsible and professionally-engaged lives » (European Commission, 2015)

Le développement de l'attitude critique ne se fait-il pas au détriment d'une structuration conceptuelle ? Quelle valeur aurait une attitude critique bien développée sans une base conceptuelle bien structurée ?

Nous ne cherchons pas à répondre à ces questions, mais elles se posent « naturellement » dans une démarche qui consiste à penser un accompagnement des enseignants du supérieur dans le but d'une amélioration de la qualité de l'enseignement. Les réponses à ces questions pourraient également éclairer l'institution quant à l'élaboration des programmes d'enseignement.

1.4.2. *Référentiels galiléens chez Newton ?*

Dans les vingt-quatre premières pages des « Principia », il n’y a pas de référence faite aux référentiels galiléens mais, parmi les corollaires, on peut entrevoir une définition d’une classe de référentiels particuliers non nommée, dans lesquels les mouvements seraient identiques. Parmi les définitions, deux types de forces sont distinguées : force d’inertie et force imprimée.

- Le premier type correspondant, à la conséquence de l’utilisation d’un référentiel non galiléen, sur une étude mécanique. En effet, aujourd’hui, nous considérons que l’aspect non galiléen du référentiel engendre des forces d’inertie, que certains appellent « pseudo-forces » dont il faut tenir compte lorsqu’on applique la seconde loi de Newton.
- Le second type correspond aux forces symbolisant les interactions, ce que certains appellent les « vraies » forces, c’est-à-dire une utilisation du concept de « force » pour traduire des interactions et non l’aspect non galiléen d’un référentiel.

De très nombreux cas sont étudiés sans poser comme condition préalable, la nécessité d’effectuer l’étude dans un référentiel galiléen.

Dans les ouvrages « récents », les énoncés des deux premières lois de Newton, commencent toujours par l’expression « dans un référentiel galiléen ». Bien que la notion de référentiel renvoie à un « objet », réel ou virtuel, de référence auquel on associe un repère mathématique pour préciser les positions des systèmes étudiés et un chronomètre pour la mesure des durées. Nous discutons cette notion ci-après, sans faire la distinction entre référentiel et repère. Plusieurs définitions sont plus ou moins acceptées de la communauté scientifique :

- En général, nous définissons un référentiel galiléen de façon expérimentale, avec la condition suivante : si un système, qui n’est soumis à aucune force ou à un ensemble de forces qui se compensent, se déplace en ligne droite à vitesse constante, alors le

référentiel dans lequel on effectue l'étude est galiléen. Cette définition nous paraît la plus accessible et c'est d'ailleurs celle qui prédomine en CPGE.

- D'autres « accepteront » ou « postuleront » que le référentiel héliocentrique est galiléen et définiront tout référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel héliocentrique comme galiléen.
- Et puis, il y a ceux, moins nombreux, qui postuleront l'existence dans l'univers d'un point fixe auquel on peut associer trois axes fixes qui définiront un repère fixe (absolu). Conceptuellement, suivant la théorie acceptée liée à « l'origine de l'univers », le point fixe pourrait être le lieu de l'origine du « big-bang ». Cette démarche perturbante pour beaucoup, permet d'alimenter une réflexion sur la nature théorique abstraite du référentiel galiléen et surtout de pouvoir effectuer une analyse critique des référentiels utilisés, tous approximativement galiléens.

⇒ **La notion de référentiel galiléen, toujours utilisée pour l'application des deux premières lois de Newton, n'est-elle pas trop « obscure » aujourd'hui ? Y-a-t-il suffisamment de temps consacré à cette notion ? Ne serait-ce pas là, une des tensions chez les enseignants, évoquée au chapitre 3 (cf. paragraphe 3.4) ? Il s'agit ici, d'une interrogation en lien avec les témoignages post-entretien de certains collègues, sur l'absence de réponse de leurs étudiants quand ils posent la question : « *qu'est-ce qu'un référentiel galiléen ?* » Cette notion n'est-elle pas en lien avec les difficultés soulignées par certains enseignants dans la troisième partie au chapitre 9 (cf. paragraphe 9.2.3)**

1.4.3. *Les lois de Newton, une partie de la mécanique « élémentaire » ?*

Le découpage académique du programme de mécanique, s'opère toujours en abordant en premier lieu, la mécanique du point. L'objet d'étude de la mécanique classique dite « élémentaire » est le point matériel, qui représente un objet physique ayant une dimension géométrique (contrairement au point mathématique) et caractérisé par une masse d'inertie (qui traduit la « difficulté » à modifier le mouvement de l'objet). Cet objet est animé d'une vitesse relativement faible devant la célérité de la lumière dans le vide, afin de respecter

le domaine de validité de la mécanique dite classique (donc non relativiste). Le point matériel est un exemple d'oxymore qui ressemble à une « *heureuse cruauté* » (Racine).

- Heureuse car simplifie grandement l'étude du mouvement de l'objet en ne considérant que le mouvement de son centre d'inertie
- Cruelle car nécessite d'avoir une réflexion sur la possibilité de considérer l'objet suffisamment petit pour être assimilé à un point matériel. Il est parfois difficile d'admettre, pour les étudiants, que l'immensité de notre planète puisse être assimilée, dans certains problèmes, à un point.

On peut s'interroger sur la nécessité de devoir assimiler les systèmes étudiés à des points matériels. Ne peut-on pas seulement parler de la mécanique du centre d'inertie à la place de la mécanique du point (sous-entendu matériel) qui reviendrait à dire que nous ne nous intéressons pas aux éventuels mouvements de rotation ? Il ne s'agit pas de répondre à cette question, au sein de notre étude, mais nous ne voulons pas ignorer que ce choix, de la mécanique du point matériel, pourrait avoir un impact sur la qualité des apprentissages.

La notion de point matériel vient s'ajouter à la notion de référentiel (Saltiel, 1978) qui de surcroît doivent appartenir à une classe de référentiels particuliers (galiléens) afin que l'utilisation des deux premières lois de Newton traduisent le plus fidèlement possible, aux erreurs acceptables près, le monde qui nous entoure.

⇒ **Pour ces diverses raisons, nous avons parfois, des scrupules à parler de mécanique « élémentaire » qui n'est élémentaire que pour les « experts ». Qu'en pensent les experts ? Nous donnons des éléments de réponses dans la troisième partie (cf. chapitre 9).**