

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	15
 PARTIE 1. Approche technico-économique de l'automobile électrique :	
Frontières et définitions ; potentialités et verrous.....	35
 Chapitre 1. Analyse technico-économique du cœur technologique de	
l'automobile électrique. Les batteries d'accumulateurs et la motorisation	
électrique soumises au révélateur du concept de « régime technologique »	37
1. Le régime technologique des batteries d'accumulateurs.....	40
2. Le régime technologique de la motorisation électrique	63
Conclusion du Chapitre 1	79
 Chapitre 2. Coûts, prix et marchés de l'automobile électrique : Calcul du coût	
total de possession des modes alternatifs de commercialisation de l'automobile	
électrique.....	85
1. Définition et calibrage des facteurs	86
2. Représentations des modèles d'affaires alternatifs et commentaires	97
3. Amendements au modèle de base : précisions et perspective dynamique	104
4. Reconsidération du modèle de base : Eléments de prospective	119
Conclusion du Chapitre 2	153
 Conclusion de la Partie 1	159

PARTIE 2. Le bien système « automobile électrique » : une appréhension par le concept de système d'électromobilité 179

Chapitre 1. Le « bien-système » : justification et grilles de lecture. Vers la définition de « systèmes d'électromobilité » 185

- 1. Le concept de « bien système » : justification et grille de lecture..... 185
- 2. Orientation « produit » et principes régissant la production des bien-systèmes 190
- 3. Orientation « bouquet » et structuration d'une offre de bien-système 197
- 4. Orientation « intersectorielle » : convergence industrielle et propriété combinatoire 207
- Conclusion du Chapitre 1 218

Chapitre 2. Quatre modalités génériques d'émergence des systèmes d'électromobilité..... 223

- 1. Systèmes d'électromobilité associés au modèle « substitution rigide »..... 229
- 2. Le modèle « substitution flexible » 234
- 3. Le modèle « autopartage » 239
- 4. Le modèle « multifactes » 247
- Conclusion du Chapitre 2 252

Chapitre 3. Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : modèles d'affaires et rôle sur la diffusion de l'électromobilité 257

- 1. Opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : genèse et marchés 258
- 2. Le marché des opérateurs de mobilité électrique : un marché bifaces 265
- 3. Application de la notion de marché bifaces aux modèles d'affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges..... 270

4. Opérateurs de mobilité électrique et diffusion de l'automobile électrique : les enseignements de l'économie des réseaux	282
Conclusion du Chapitre 3	290
Conclusion de Partie 2	295
PARTIE 3. L'automobile électrique comme bien-système territorialisé ...	319
Chapitre 1. Une approche institutionnaliste et évolutionnaire du territoire et des dynamiques d'émergence et de diffusion de l'automobile électrique.....	325
1. Territoire et innovation : revue de la littérature des approches institutionnalistes.....	327
2. Territoire, industrie et « bien système » : généralisation à partir du cas exemplaire de l'émergence d'une industrie de l'automobile électrique en Californie	354
3. L'approche par les actifs et ressources territoriaux appliquée au cas de l'émergence des systèmes sociotechniques et de l'automobile électrique	379
Conclusion du Chapitre 1	401
Chapitre 2. Le bien-système territorialisé repensé à la lueur d'une grille d'interprétation lancastérienne	411
1. L'approche lancastérienne du bien-attributs et ses prolongements en termes de « <i>characteristics-based models</i> »	413
2. Représentation lancastérienne de l'émergence des systèmes d'électromobilité	439
3. Une dynamique d'émergence et de diffusion de l'électromobilité par capillarité	453
Conclusion du Chapitre 2	459
Conclusion de la Partie 3	465
CONCLUSION GENERALE	491

Introduction générale

Le développement de l'électromobilité, c'est-à-dire la généralisation de l'usage des automobiles électriques (AE), est aujourd'hui à l'ordre du jour de nombreux gouvernements et autorités politiques locales en Europe, comme dans le reste du monde. Un enjeu important associé à cette nouvelle forme de mobilité est la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), largement relayée par une pression sociale forte en faveur du développement durable. Le développement de l'électromobilité constitue également un enjeu clé pour la croissance et l'emploi, par la constitution d'une filière industrielle complète, depuis la production de batteries, la production d'automobiles électriques, la mise en place d'infrastructures de charge et de services associés, jusqu'au recyclage des véhicules et des batteries et la seconde vie des batteries (Schwartz, 2011).

1. Cadrage.

En termes de rejets polluants, l'automobile à moteur à explosion traditionnelle (ou automobile thermique), fortement consommatrice de matières premières et d'énergies fossiles, constitue la source de fortes émissions de GES. Selon l'ADEME, chaque année en France, une voiture [thermique] rejette en moyenne trois fois son poids en polluants, principalement en raison des mobilités pendulaires, domicile-travail, assurées au moyen de voitures particulières individuelles. Concrètement, les automobiles à moteurs essence et diesel représentent une source conséquente de pollution atmosphérique en Ile de France, où 5 millions de véhicules se croisent quotidiennement. Par contraste, selon Airparif (2012), organisme en charge de la surveillance de la qualité de l'air de la région parisienne, si l'ensemble de ces motorisations polluantes était délaissé au profit d'une généralisation de la chaîne de traction électrique, le

trafic routier connaîtrait une baisse de 44% des émissions locales de particules fines (PM10 et PM2,5) nocives pour l'organisme. De surcroît, les émissions de CO₂ engendrées par le trafic automobile seraient nulles, bien qu'en toute rigueur, la pollution de l'air, découlant du déploiement massif de l'AE, doit être envisagée à la lueur d'une lecture systémique incluant l'énergie qui assure la recharge de l'AE et non à l'aune des seules émissions liées à leur usage. En dépit de cette nuance, l'AE bénéficie de performances environnementales nettement améliorées en comparaison de sa principale alternative technologique et relève, à ce titre, d'une éco-innovation (Kemps et Pearson, 2008). Afin de compléter cette présentation, précisons que nous appréhendons l'AE comme un véhicule particulier¹ mu par un moteur électrique alimenté par une batterie d'accumulateurs, elle-même susceptible d'être rechargée depuis le réseau électrique. Notre analyse prend ainsi en compte les automobiles électriques « pures » et les automobiles hybrides rechargeables (ou *Plug-in hybrid*), pour lesquelles la chaîne de traction électrique (moteur électrique, batterie d'accumulateurs et électronique de puissance) est couplée à un moteur thermique jouant le rôle de générateur.

L'essor de l'AE et de la filière sur laquelle elle repose est manifeste. En 2012, les immatriculations d'AE correspondant à notre définition ont progressé de 115% en France (CCFA, 2013.a), dans un marché global pourtant inscrit à la baisse (-13,9%, Ibid.). Cette progression, notamment aiguillonnée par les subventions gouvernementales à l'achat de 7.000 euros en France, biaise néanmoins les résultats, en occultant la faiblesse des volumes en question. Les automobiles purement électriques ont ainsi atteint 5.663 immatriculations en France, soit 0,30% du marché sur l'année 2012, et dont la majeure partie est composée de

¹ Au titre d'automobiles électriques, outre les véhicules particuliers de tourisme, au sens de l'administration française, nous prenons en compte les autres véhicules à quatre roues motorisés, tels que les véhicules utilitaires légers (VUL), caractérisés par un poids total autorisé en charge (PTAC) inférieur à 3,5 tonnes, de même que les quadricycles lourds, c'est-à-dire des véhicules dont la masse à vide est limitée à 400 kilos pour les véhicules destinés au transport de personnes et à 550 kilos pour ceux destinés au transport de marchandises et dont le moteur développe une puissance maximale de 15 kW.

modèles destinés aux systèmes d'autopartage² (Verdevoye, 2013). Hors de l'hexagone, la disparité des ventes d'AE est un phénomène marquant, ces dernières variant d'une poignée d'unités à une part de marché de 3,5% des ventes d'automobiles neuves en Norvège sur le premier semestre 2013 (ACEA, 2013) et même 8,6% de parts de marché au mois de septembre 2013 (CCFA, 2013.b). Il convient, enfin, de souligner le nombre de partenariats noués entre les constructeurs d'AE (tels que l'Alliance Renault-Nissan – Renault, 2013) et les collectivités locales à travers le monde est questionnant, témoignant, s'il est besoin de préciser, d'une véritable spécificité du processus de diffusion de l'AE.

Partant de la thématique du développement de l'électromobilité et prenant pour objet d'étude l'AE, le présent travail s'interroge sur les conditions d'émergence et de diffusion de cette forme très particulière d'innovation. L'enjeu est d'importance puisque l'AE peut être assimilée à une « technologie éternellement émergente » au sens de Fréry (2000), ou encore à une « technologie dormante » (Christensen, 1997), qui peut mettre longtemps à progresser par rapport aux besoins du marché principal avant de finir par y répondre. Dans ce cadre, notre propos ne consiste pas en une étude prospective quant à l'avènement prochain ou lointain de l'AE³, mais à saisir les frontières de son écosystème, tout à la fois foisonnant, effervescent et non stabilisé. Nous montrons, en effet, que l'AE émerge à l'appui d'un écosystème composé d'acteurs traditionnels de l'industrie automobile (constructeurs, équipementiers,...), dont certains envisagent des produits ou des services renouvelés (Vinci, Sanyo,...), ainsi qu'à l'appui de firmes se situant jusqu'alors en dehors de l'industrie automobile (EDF, Google,...) ou encore, de firmes créées *ex nihilo*, tels que les opérateurs de mobilité électrique ou les

² Un système d'autopartage consiste à mettre à la disposition de « clients », particuliers ou professionnels, une flotte de voitures qu'ils partagent avec d'autres utilisateurs sur des créneaux horaires différents. Le véhicule est prêté à titre onéreux, mais le montant est limité à la durée du besoin effectif.

³ Se reporter vers Kampker, Burggraf et Deutschens (2010) pour une liste exhaustive.

agréateurs de charges⁴, à l'image de l'entreprise *Freshmile* en France⁵. Chacun de ces acteurs est traversé par des dynamiques globales, territoriales et propres à la trajectoire de leur industrie d'appartenance et a la tentation de s'arroger une place enviable au sein de l'industrie de l'électromobilité. Dans le prolongement, notre démarche d'économiste industriel ne consiste pas à évaluer le contenu en emploi, la valeur ajoutée ou le chiffre d'affaires dérivés de l'industrie de l'électromobilité naissante, mais vise à identifier la dynamique d'émergence et de diffusion de l'électromobilité, notamment ses soubassements industriels.

2. Problématique.

Sur un plan conceptuel, nous privilégions donc une approche de l'AE comme « objet technique » enchâssée dans son environnement d'usage et intriquée dans les parties prenantes qu'elle agrège. A cet égard, le basculement sémantique opéré depuis l'analyse de l'AE vers l'analyse de l'électromobilité doit permettre de soutenir une argumentation plus riche et rigoureuse, en particulier quant aux conditions spatio-temporelles de la diffusion de l'AE et, en retour, quant à la nature inclusive du déploiement de l'AE sur les territoires. A tout le moins, la terminologie « électromobilité » intègre le véhicule électrique, les réseaux routier, énergétique, électrique et de télécommunications qui l'accompagnent, de même que les usages des utilisateurs du système ainsi formé. Dans le prolongement, sur un plan théorique, en concevant l'AE comme un « bien-système » ou systémique, au sens de Teece (1984), c'est-à-dire comme un nouveau produit ou une nouvelle technologie nécessitant la redéfinition de

⁴ La genèse de cette terminologie est difficile à retracer. Elle remonte, à notre connaissance, à 2007, date à laquelle l'entreprise californienne *Better Place* se définit comme un « opérateur global de réseaux et de services pour véhicules électriques ». La paternité du terme « opérateur de mobilité électrique » revient, pour sa part, à Cédric Lewandowski (Directeur de la Direction « Transport et Véhicule Electrique d'EdF) dans un entretien accordé à la rédaction du journal *L'Usine Nouvelle*, le 1^{er} Juillet 2008 (*L'Usine Nouvelle*, 2008).

⁵ *Freshmile* est un opérateur qui déploie une flotte d'AE et l'infrastructure de charge intelligente nécessaire à leur intégration dans le réseau électrique, notamment dans le cadre du projet « Alsace Auto 2.0 » qu'il pilote, secondé d'un consortium de partenaires industriels.

produits, services et compétences reliés entre eux et complémentaires au sein du système qu'ils forment, trois principales interrogations se font jour.

Une première interrogation porte sur l'intégration et la coordination dynamique de chacun des éléments du système ainsi formé. En effet, l'AE contemporaine est une innovation complexe qui articule une série de composantes à la fois matérielles (technologies de batteries d'accumulateurs avancées ; bornes de recharge) et immatérielles (innovations de services, d'usages et sociétales) nouvelles ou redéfinies, à chaque niveau de la chaîne de valeur (Beaume et Midler, 2009). Sous quelles formes et selon quelle temporalité ces composantes s'articulent-elles ensemble afin d'aboutir à une offre variée et qualitative ? Comment les technologies imbriquées dans un tel contexte apparaissent-elles et se standardisent-elles ? Concomitamment, quels sont les freins à la définition et à la concrétisation du *dominant design* ? Enfin, de manière sous-jacente, quelles sont les stratégies déployées par les entreprises et les acteurs publics ? Sont-elles compatibles, ou encore territorialisées, au sens où elles seraient façonnées par les conditions institutionnelle et technologique locales ? Une analyse technico-économique, replacée dans un creuset évolutionniste et doublée d'une approche institutionnaliste nous permettra de bâtir un cadre théorique susceptible d'étayer et d'analyser de nombreuses constatations empiriques.

En deuxième lieu, en admettant qu'une solution de mobilité électrique se conçoive comme une combinaison technico-économique adaptée à un type de véhicule, à un comportement donné de l'utilisateur (Saada, 2011) et à un cadre territorial, encore faut-il que la nature et les caractéristiques des mobilités participent pleinement de l'existence d'une demande à l'égard de l'AE. Cette demande peut s'avérer solvable ou non et se place dans le filigrane d'un changement paradigmatique du statut social accordé à la voiture particulière

(Mekki, 2012). Cette révolution relève du comportement de l'utilisateur comme acteur de sa mobilité et il serait illusoire de considérer qu'il existe une seule manière possible de faire usage de l'AE. On peut d'ores et déjà souligner une diversité d'approche de cette question. On citera le *crowdsourcing*, consistant à impliquer les consommateurs dans la coproduction d'un contenu ou d'un service grâce aux Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), telle que l'information en temps réel des usagers sur l'état des réseaux de transport. Une autre approche renvoie à l'inscription croissante des déplacements dans des parcours collectifs, comme le covoiturage⁶ acte parfois à transformer la voiture particulière en mode de transport collectif, ou à l'instar l'autopartage, expression phares du mouvement de l'économie des partages (Rifkin, 2011). Afin de tenir compte de ces contingences, il importe de dresser une typologie des mobilités et des temps susceptible d'ouvrir sur une approche différenciée des systèmes d'électromobilité.

En troisième lieu, la spécificité de l'émergence de l'AE est d'être adossée à un marché dominé par une technologie alternative ancrée dans le territoire et les usages, mais qui néanmoins, souffre d'une remise en cause partielle de son intégration systémique⁷. Alors que l'AE a connu une brève période de succès jusqu'au premier lustre du 20^{ème} siècle, s'octroyant une part de marché de près de 40% des automobiles vendues ainsi que de multiples réapparitions ponctuelles durant les décennies qui suivirent (Nicolon, 1984 ; Shacket, 1979), l'AE a rapidement cédé du terrain face à son homologue thermique qui s'encastre, pour sa

⁶ Le covoiturage est l'utilisation conjointe et organisée d'un véhicule, par un conducteur et un ou plusieurs passagers, dans le but d'effectuer un trajet ou un tronçon de trajet commun. A la différence de l'autopartage, le covoiturage se caractérise ainsi par une unité de temps et de lieu entre les utilisateurs.

⁷ Si nombre de bénéfices de l'automobile à moteur à explosion ont été tirés au cours du 20^{ème} siècle, en termes de gain de temps, d'appropriation de l'espace, ou encore de disponibilité de la ressource en pétrole, on assiste aujourd'hui à une crise de son intégration au cadre systémique. Ses inconvénients débordent sur des considérations de santé humaine (pollution), sociales (congestion urbaine), politiques et économiques, en raison de la hausse tendancielle du prix du pétrole au sein des pays industrialisés. Au surplus, l'automobile à moteur à explosion semble s'arrimer avec difficulté à la lame de fond constituée par l'émergence des BRICS. Dotée de caractéristiques distinctes, l'AE épouse – peut-être – mieux les contours d'un monde en mutation dans lequel la « soutenabilité » du développement est devenu un enjeu primordial.

part, progressivement dans un paradigme à la fois industriel et sociétal. Cette historicité semble conforter la théorie des « moments technologiques » (Hugues, 1969), soutenant que la société dispose de la mainmise sur l'utilisation et le périmètre d'une technologie lorsqu'elle apparaît, mais qu'à mesure de sa maturation, les « forces déterministes » de la technologie prennent le pas, dans un modèle où la diffusion est autoentretenu et l'émergence d'une technologie alternative rendue très ardue. Dans ce contexte, il est crucial d'identifier et de préciser les mécanismes par lesquels une innovation [systémique] émerge, remplace, transforme et/ou reconfigure le système sociotechnique dominant. Pour cela, il nous faut mobiliser une approche identifiant – en dynamique – les canaux de délitement du véhicule thermique traditionnel et, surtout, soulignant les facteurs d'infusion de l'AE dans le système sociotechnique existant. Il s'agit précisément de l'objet de la « perspective multi-niveaux » (Geels, 2002), qui s'inscrit notamment dans une philosophie d'économie industrielle et plus précisément dans un phylum évolutionniste.

L'économie industrielle est un champ particulier de l'économie théorique et appliquée, formant une discipline à part entière. Elle apporte des éléments de réponse en rapport avec un contexte complexe, en étudiant, d'une part, la structure des industries et des marchés et, d'autre part, le comportement des firmes de l'industrie sur ces marchés. Dans la première acception, elle est dite « *industrial organization* » (Gaffard, 1990 ; Carlsson, 1992) et prolonge le modèle général de Mason (1957). Dans la seconde acception, dite « *industrial dynamics* », l'économie industrielle développe une analyse dynamique du processus d'évolution et de transformation (qualitative) des industries au regard du changement technologique, dans la lignée des travaux de Marshall (1919). Cette dernière conception se situe au cœur de notre analyse qui s'écarte néanmoins de l'analyse traditionnelle en économie industrielle du cycle de vie de l'innovation en termes de *dominant design* à la Abernathy et

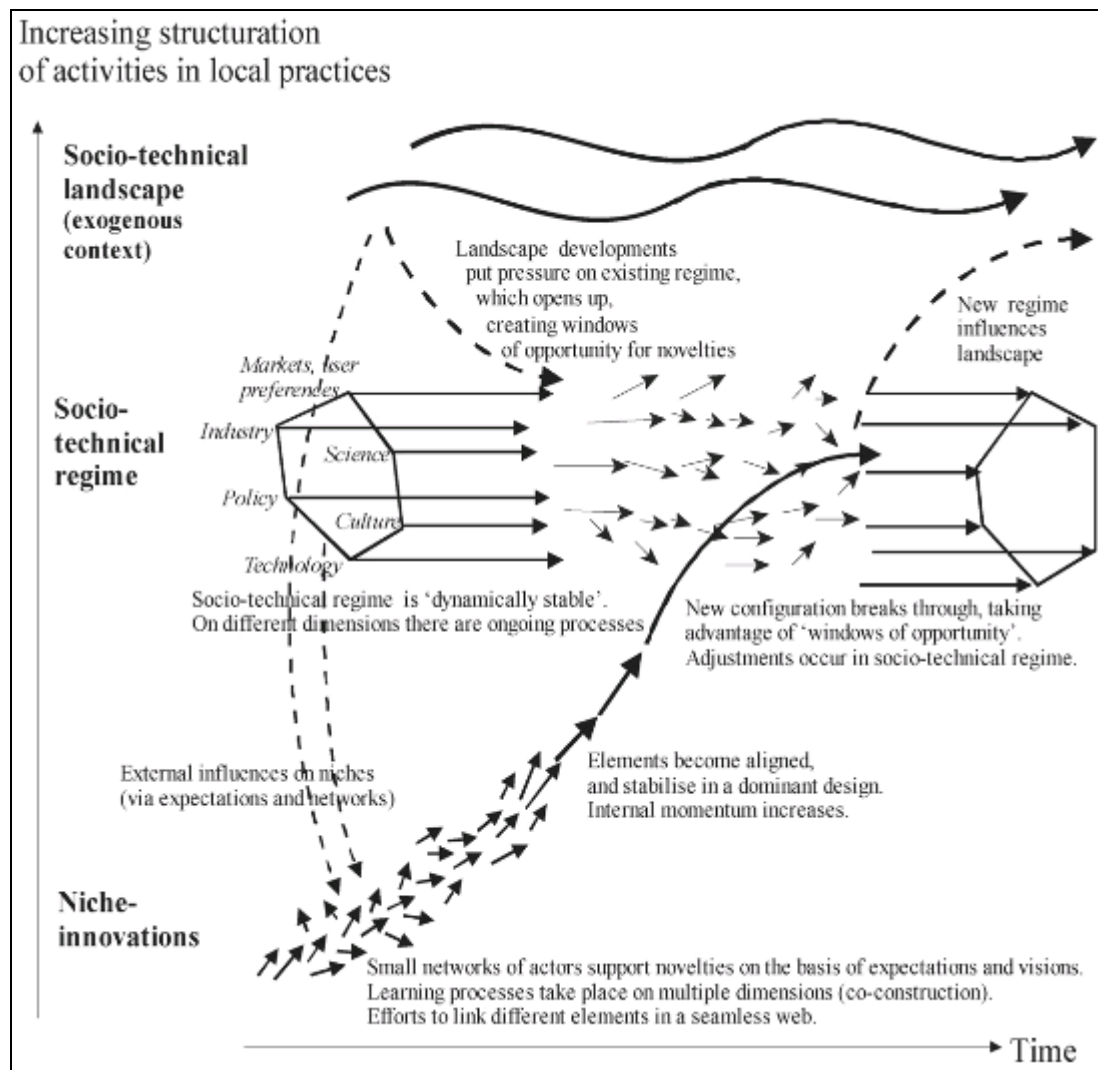
Utterback (Abernathy et Utterback, 1978 ; Abernathy, 1978 ; Clark, 1983 ; 1985 ; Teece, 1986), en raison du contexte du verrouillage du marché sur une solution technologique alternative à l'AE et de son caractère systémique. Dans cet esprit, nous nous plaçons résolument dans une démarche d'économiste hétérodoxe, selon la définition de Le Bas (1989), en avançant que le changement technique est l'une des forces importantes qui imprime la trajectoire empruntée par le système économique, tout en admettant que le cadre socio-institutionnel influence les processus de changements techniques et sociaux.

Notre thèse se fonde sur une trame évolutionniste, en rappelant que la préoccupation centrale de ce champ de l'analyse économique est le processus dynamique par lequel les schémas de comportement des firmes et les performances du marché sont conjointement déterminés dans le temps, en suivant une trajectoire dépendante du sentier (David, 1985). Ce courant de recherche, né dans le sillage des travaux de Schumpeter (1934), s'est structuré autour des réflexions de Nelson et Winter (1977 ; 1982), qui initient trois prolongements distincts selon Paulré (1997 ; 1999). Le pôle « sélectionniste », d'inspiration biologique et issu des travaux fondateurs de Nelson et Winter (1982), envisage la dynamique économique à travers le filtre de la séquence « mutation-sélection-rétention », essentiellement à l'échelle de la firme. Cette dernière renferme un ensemble de règles appelées « routines » déterminant les performances et guidant la trajectoire technologique des entreprises. Le « courant de l'émergence », quant à lui, aborde le phénomène des « rendements croissants d'adoption » (Arthur, 1989), en examinant le processus dynamique qui sélectionne une solution d'équilibre parmi plusieurs alternatives technologiques. Dans ce cadre, un épisode de standardisation intervient à la suite de « petits événements » jalonnant l'histoire d'une technologie, dont la propre diffusion s'auto-entretient. Les partisans du pôle « structuralistes » élaborent, finalement, le concept de « trajectoire technologique » qui restitue une épaisseur temporelle et spatiale à la technologie

(Zuscovitch, 1985). En effet, les innovations ne s'élaborent pas de façon purement aléatoire, mais émergent selon une logique précise qui opère à travers des mécanismes de sélection et d'apprentissage (Willinger et Zuscovitch, 1993), étant entendu que la technologie se modifie par le biais de son intégration au contexte économique constituant un dispositif essentiel de sélection, car il détermine sa valeur et les conditions de sa production et de son usage (Jolivet, 1999).

Dans ce travail, nous faisons un usage éclectique de la littérature évolutionniste, dont les mécanismes communs à l'œuvre reposent sur les notions de diversité, d'apprentissage et de sélection, dont l'une des concrétisations contemporaines est la perspective multi-niveaux. Celle-ci apporte un outillage et un éclairage appropriés aux épisodes de transition des systèmes sociotechniques, à la confluence des sphères technologique, économique, politique et sociétale. Elle se présente ainsi comme une grille d'interprétation des mécanismes par lesquels une innovation radicale émerge et remplace, transforme ou reconfigure le système existant (Geels, 2011) et réintègre pour cela le contenu social et historique des règles structurant le milieu. Pour cela, la perspective multi-niveaux conçoit la transition comme un processus non-linéaire résultant de l'interaction dynamique de trois niveaux d'agrégation distincts, comme autant d'angles de vue. Elle distingue alors un méta-système sociotechnique exogène, de multiples systèmes sociotechniques intégrés dans un régime sociotechnique d'essence paradigmatique, ainsi que des « niches », entendues comme toutes pratiques ou technologies s'écartant significativement de celles qui façonnent les systèmes sociotechniques dominants et, conséquemment, le régime sociotechnique existant (**Figure 1** : La transition sociotechnique au révélateur de la perspective multi-niveaux).

Figure 1 : La transition sociotechnique au révélateur de la perspective multi-niveaux :



Source : Geels et Schot (2007), p.401

Le niveau du régime sociotechnique est central car il synthétise les événements intervenant dans le passage d'un système sociotechnique dominant à un système alternatif, dont les soubassements technologiques peuvent être radicalement modifiés. En effet, le régime sociotechnique amalgame un ensemble de savoir-faire, de technologies, de modèles d'affaires, de comportements de consommation, ou encore d'institutions. La « niche de marché », discordante vis-à-vis de systèmes et régime sociotechniques qui se stabilisent et se reproduisent notamment à partir des principes d'économies d'échelle et d'envergure, ainsi que

des coûts irrécupérables, constitue une matrice de la transition susceptible de modifier les bases sociotechniques d'accumulation et de réalisation des profits. Seulement, si la littérature s'avère prolixe quant aux formes d'interactions entre les niches et le régime sociotechnique (Rip et Kemp, 1998 ; Geels, 2002, 2005 ; Geels et Kemp, 2007 ; Geels et Schot, 2007 ; Van Bree et al., 2010 ; Dijk, 2013), aucun de ces travaux n'a cherché à décrire et à expliciter concrètement quels sont les canaux par lesquels une niche s'inscrit, interroge ou remplace un système sociotechnique dominant et, par-là, transforme un régime sociotechnique, dans le cas particulier des bien-systèmes territorialisés. Telle est la question de fond qui nous guidera tout au long de ce travail, qui se montre à la fois conceptuelle – en adossant une lecture institutionnaliste à la perspective multi-niveaux originelle – en prenant appui sur le cas de l'AE.

Mais cette question ne suffit pas à caractériser totalement notre problématique, dans la mesure où la dimension territoriale du processus de mise en interdépendance des techniques et de stabilisation d'un système technique a été peu étudié par les tenants de l'économie du changement technologique (Bellet, 1992 ; Bellet et Boureille, 1989) et notamment pas par Geels (2002). Il nous semble pourtant que la compréhension des conditions d'émergence et de diffusion de l'AE gagnerait beaucoup à l'adjonction de cette dimension, en ce sens que l'économie des territoires favorise un raisonnement situé à un niveau mésoéconomique permettant d'introduire une analyse économique moins normative (Duez, 2009) et ouverte à une approche synchronique des faits historiques. Ainsi, dans l'approche territoriale, d'essence institutionnelle, la technologie « est entendue précisément comme la capacité d'un environnement donné – milieu, système, économie... – à concevoir et à faire exister des problèmes et des solutions productives, capacité qui dépend des ressources spécifiques qui sont l'expression de cet environnement » (Amendola et Gaffard, 1988, pp.23-24). Le

territoire, dans une acception d'espace administré ou « vécu » (Frémont, 1976), constitue par-là, non seulement un creuset des dynamiques d'émergence de l'AE, offrant des facteurs favorables de localisation (infrastructures, flux de déplacements, etc.), mais également un « agent actif » (Decoster et al., 2004) de l'émergence de cette dernière.

Face aux interrogations et aux jalons qui viennent d'être posés, la problématique générale de notre thèse peut s'exprimer de la façon suivante : *A quelles conditions – politiques, économiques, ou encore technologiques – et au moyen de quels canaux l'électromobilité est-elle susceptible d'émerger et de se diffuser en masse, dans un univers où la technologie de motorisation thermique constitue l'ossature des systèmes de transport routiers ?* D'un point de vue théorique, nous soulevons la question des conditions dans lesquelles un bien-système est susceptible de contester la position acquise par un bien-système alternatif imbriqué dans un régime sociotechnique donné. Rappelons que par électromobilité, nous entendons les déplacements effectués par l'intermédiaire d'une automobile électrique à quatre roues, tandis que nous limitons les contours des systèmes de transport routiers aux déplacements des particuliers ainsi qu'au transport de marchandises de proximité.

3. Objectifs de la thèse et plan.

En cherchant à comprendre quelles sont les conditions d'émergence et de diffusion d'un bien-système territorialisé telle que l'AE, ce travail poursuit trois objectifs essentiels. Il s'agit, d'une part, d'identifier quels sont les freins à l'émergence et à la diffusion de l'AE et à mesurer leur acuité. Il s'agit, d'autre part, d'identifier quelle est l'échelle pertinente d'appréhension de la dynamique d'émergence et de diffusion de l'AE et, conséquemment, de mobiliser une approche conceptuelle en phase avec nos questionnements théoriques. Il s'agit,

finalement, d'identifier quels sont les vecteurs de l'émergence et de la diffusion de l'AE et la manière dont ils opèrent. Nous montrerons ainsi que c'est l'avènement d'un écosystème *ad hoc* appuyé sur certaines propriétés techniques intrinsèques de l'AE et sur une base territorialisée, c'est-à-dire relative au contexte singulier d'un territoire creuset de flux de déplacements et d'infrastructures de différentes natures, que l'AE est susceptible d'infuser l'économie et la société. Nous mettrons ainsi en perspective les effets de ces transformations industrielles – adossées à l'essor de l'AE – sur la transformation des bases sociotechniques d'accumulation et de réalisation de profits et les implications qui en découlent en termes de stratégies des firmes et des territoires.

Pour atteindre ces objectifs, la thèse s'articule en trois grandes parties.

Une première partie intitulée « Approche technico-économique de l'automobile électrique : frontières et définition ; potentialités et verrous » se propose de cerner les contours de cet objet assez complexe qu'est l'AE et de dresser un état des lieux de la filière industrielle de l'AE. En d'autres termes, il s'agit d'ouvrir la « boîte noire » de la technologie (Murmann et Frenken, 2006, p.932) et de mobiliser pour ce faire les concepts évolutionnistes de « régime technologique » (Nelson et Winter, 1982) et de « système sectoriel d'innovation et de production » (Malerba, 2002.a, b), dont l'intrication vient enrichir la compréhension du changement technique. Nous identifions l'ensemble des facteurs – techniques et économiques – gouvernant la nature des verrous auxquels l'AE est confrontée dans ses velléités d'émergence et de diffusion. Dans une logique de grossissement graduel du spectre de l'analyse, nous déclinons notre analyse technico-économique successivement au cas des batteries d'accumulateurs, au diptyque formé par le moteur électrique et l'électronique de puissance, puis à l'AE resituée dans son écosystème en constitution. A chaque étape, nous

mettons en valeur la manière dont l'AE bouleverse le paradigme technico-économique associé à l'automobile thermique usuelle, équipée d'un moteur à essence ou diesel.

Le **Chapitre 1** cherche à apprécier les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE à travers le filtre des verrous techniques et économiques affectant les technologies de batteries d'accumulateurs, puis le diptyque moteur électrique et électronique de puissance. Précisons que ces éléments déterminent amplement le rayon d'action et l'équilibre de l'équation économique de l'AE. Nous passons ainsi ces technologies au crible des conditions d'opportunité, de cumulativité et d'appropriabilité technologique, façonnant un « régime technologique » au sens de Malerba et Orsenigo (1993). Egaleme nt, nous analysons les fondements et la dynamique de la demande et de l'offre formulées à l'endroit des technologies de batteries avancées et du couple formé par le moteur électrique et son électronique de puissance. Nous sommes alors en mesure de repérer les principaux traits caractéristiques des batteries d'accumulateurs, telle qu'une standardisation *de facto* sur la technologie du Lithium-Ion et une évolution tâtonnante et inertielle sur la courbe d'apprentissage, ainsi que leur emprise sur les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE. Guidés par l'intuition que la compréhension technico-économique des conditions d'émergence et de diffusion de l'AE n'est pas réductible à l'analyse des seules batteries d'accumulateurs, nous examinons le couple formé par le moteur électrique et son électronique de puissance à l'aune d'une démarche analytique analogue. Nous démontrons notamment que l'approche par la motorisation électrique met en évidence une forte altération de la logique traditionnelle des coûts de détention automobile, se concrétisant par le fait que l'achat d'une AE constitue une option rentable pour les acteurs économiques qui ont la stratégie d'en maximiser l'usage.

Le **Chapitre 2** détaille, pour sa part, la structure de coûts de l'AE et en illustre les spécificités par le biais d'une approche en termes de coût total de détention (ou *total cost of*

ownership). L'ambition de ce second chapitre est de construire un modèle théorique de référence sur la structure de coûts de l'AE en suivant une démarche de prise en compte exhaustive des facteurs de coûts afin d'obtenir une représentation fiable des conditions de rentabilité – économiques et fiscales – de cette solution technologique. Pour étayer nos propos et rendre cet exercice moins périlleux, nous nous inscrivons dans une démarche scénaristique explorant méthodiquement les multiples modalités de valorisation intertemporelle de l'AE et de la capacité de stockage d'électricité de sa batterie d'accumulateurs. Cette approche nous permet de cerner les traits d'un nouveau paradigme automobile, d'affirmer que le coût de revient du VE n'est pas un élément fragilisant son émergence ou sa diffusion et, également, d'introduire de nouveaux acteurs de l'écosystème, les « opérateurs de mobilité électrique ». Ces derniers avancent le principe novateur de la vente d'une « fonction de mobilité », consistant à offrir une prestation intégrée comprenant la location de la batterie et l'accès à une infrastructure de recharge, soulignant – par-là – la dimension de « bien-système » que forment l'automobile électrique et son infrastructure de recharge.

Une deuxième partie intitulée « Le bien système : une revue de la littérature. Adaptation au cas de l'émergence de l'automobile électrique » part du postulat selon lequel l'AE et son infrastructure de recharge forment un « bien-système » émergeant dans un univers contraint, où l'AE est l'ossature du système de transport et, plus globalement, constitue un élément fondamental de l'édifice sociétal de nombreux espaces. Théoriquement, cette **Partie 2** développe une approche évolutionniste multi-niveaux (Geels, 2002). Celle-ci offre un outillage intéressant pour cerner les processus de transition des systèmes sociotechniques et en repérer les vecteurs, envisagées comme des niches de marché, discordantes à l'égard des systèmes et régime sociotechniques institués, mais susceptibles de modifier les bases sociotechniques d'accumulation et de réalisation des profits. Cette deuxième partie consiste

donc à identifier, justifier et analyser les formes alternatives d'émergence de l'automobile électrique, à partir de la notion de « système d'électromobilité », que nous définissons comme des compromis formulés entre les propriétés d'une automobile électrique, sa batterie et son infrastructure de recharge, dont le potentiel agrégé est actionné par un soubassement d'infrastructures de natures multiples (routière, électrique, énergétique, télécoms), dans le cadre d'un régime d'usages adossé à un creuset spatio-temporel spécifique.

Le **Chapitre 1** cherche à identifier les physionomies d'émergence de l'AE qui s'ancrent aux systèmes et régime sociotechniques institués sous la forme de système d'électromobilité. A cette fin, nous dressons un inventaire ordonné des acceptions du concept de « bien système » apparaissant ça et là dans la littérature économique et les resituons par rapport à une mosaïque de notions voisines. Nature et périmètre des fonctionnalités des bien-systèmes, dans la veine des travaux de Henderson et Clark (1990) et de Moati et al. (2006), constituent les clés de voûte de notre analyse et les nuanciers permettant d'isoler trois orientations dans lesquelles s'inscrivent les configurations différenciées de bien-système et qui, chacune, soulève des questionnements spécifiques et apporte des éclairages partiels. De l'extrapolation de ces éléments de cadrage théorique et de leur transposition au cas des systèmes d'électromobilité découlent quatre modèles génériques d'émergence de l'automobile électrique, dénommés modèles de « substitution rigide », de « substitution flexible », modèles « autopartage » et « multiface ».

Le **Chapitre 2** reprend cette typologie des systèmes d'électromobilité, précise les contours de chacun d'eux et met en évidence l'importance des dimensions spatiales et temporelle des conditions qui président à leur émergence. Pour illustrer nos propos, nous croisons les systèmes d'électromobilité avec une typologie des espaces (urbains, périurbains, extra-urbains) et des usages (professionnels, pendulaires, loisirs). Nous pouvons ainsi fournir une évaluation du degré de complémentarité entre les schémas de mobilité promus par les

modèles d'électromobilité identifiés et les schémas de mobilité actuels des agents. Cette complémentarité constitue un élément déterminant de l'émergence et la diffusion de l'automobile électrique. L'adéquation des systèmes d'électromobilité est, en effet, liée à la nature des mobilités des personnes et des marchandises, ainsi qu'à certaines propriétés des territoires en termes de localisation des activités sociales et économiques, de composition sociale de la population, ou encore de nature du parc de véhicules privés ou collectifs.

Le **Chapitre 3** analyse et formalise l'écosystème qui se forme autour de l'électromobilité contemporaine. Nous focalisons notre attention sur les opérateurs de mobilité électrique et les agrégateurs de charges, dont nous précisons les marchés et les modèles d'affaires. Nous constatons que chacun d'eux joue un rôle d'interface entre les infrastructures routières, électriques, télécoms et/ou énergétiques, et qu'ils mettent en cohérence et régulent respectivement les offres et les demandes de déplacement et de charges d'électricité. Nous montrons que leurs modèles d'affaires s'arriment au principe des marchés à double versants ou bifaces (Rochet et Tirole, 2003), dont l'agencement requière l'existence de deux clientèles différentes mais interdépendantes pour les produits qui y sont échangés, de sorte que la valeur d'usage d'un produit pour une catégorie d'agents est réciproquement et positivement corrélée au nombre d'agents sur l'autre versant du marché. Enfin, en nous appuyant sur les apports de l'économie des réseaux (Curien, 2000), nous interprétons l'apparition des opérateurs de mobilité électrique comme visant à créer les conditions cadres de rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés à l'AE.

Une troisième partie intitulée « L'automobile électrique comme bien-système territorialisé » aborde et discute la problématique des processus dynamiques d'émergence et de diffusion de l'automobile électrique sur une base territoriale. La thèse que nous défendons est, en effet, que la faculté de l'électromobilité à innover le territoire et la faculté des

territoires à ancrer l'automobile électrique, forgent décisivement le processus de diffusion de ce dernier. Cette **Partie 3** propose ainsi de fournir une analyse ordonnée et synthétique des correspondances entre territoire et AE afin d'explicitier quelles en sont les conditions spécifiques d'émergence. Pour ce faire, la perspective multi-niveaux de Geels (2002) est mobilisée conjointement à celles développées par l'approche institutionnaliste du territoire en économie. Dans ce cadre, on considère le territoire comme doté de propriétés physiques, sociales et économiques cadrant plus ou moins adéquatement aux systèmes d'électromobilité. En retour, ces systèmes d'électromobilité sont saisis comme l'infrastructure indispensable à la diffusion de l'AE, en constituant des points d'arrimage de l'électromobilité dans le territoire. A ce titre, les systèmes d'électromobilité agissent à la manière des « niches de marché » dans la perspective multi-niveaux et conduisent à s'interroger sur la capacité des territoires à s'écarter de l'alignement imposé par les composantes du système sociotechniques dominant (Geels et Schot, 2007). Cette double lecture dynamique et territoriale nous permet de préciser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions du régime sociotechnique associées à l'émergence de l'AE, de même que de capter les choix individuels, ceux des firmes, mais également le jeu des institutions et leur capacité à intervenir dans l'offre de ressources, ainsi qu'à faire émerger des compromis, à l'échelle du territoire administratif ou « vécu » (Frémont, 1976). Ces composantes seront synthétisées et rationalisées dans le cadre d'une représentation lancastérienne (Lancaster, 1966).

Le **Chapitre 1** focalise l'attention sur les éléments de la littérature qui s'attachent à saisir les logiques technologique, économique et institutionnelle à travers lesquelles s'enclenche le processus de territorialisation, c'est-à-dire de spécification du territoire. A cet égard, les travaux de Colletis et Pecqueur (1993 ; 2005), fondés sur une double typologie des ressources et des actifs territoriaux génériques ou spécifiques, constituent une grille d'analyse et d'interprétation originale et éclairante de l'émergence des bien-systèmes de nature

territorialisée. A partir de l'identification de processus « d'activation des ressources » et de « spécification des actifs », cette typologie permet d'étayer les modalités de transition des systèmes sociotechniques en faisant apparaître les éléments d'inertie et les mécanismes d'endogénéisation des technologies dans le territoire. A partir d'un angle de vue complémentaire, nous tirons également partie du cas de l'émergence d'une industrie de l'AE en Californie, au moyen d'une analyse démographique des firmes, afin de préciser les vecteurs du processus de désalignement - réalignement (Geels et Schot, 2007) du régime sociotechnique associés à l'émergence de l'AE. Sur ce territoire, l'organisation de proximités géographiques, organisationnelles et institutionnelles vise à optimiser l'intégration de l'AE dans les systèmes électrique et énergétique locaux (Bainée et Le Goff, 2012).

Le **Chapitre 2**, portés par la volonté de proposer une démarche analytique – complémentaire par rapport à la perspective multi-niveaux – examine les dynamiques d'émergence et de diffusion des innovations assimilées aux « bien-systèmes territorialisés ». Nous schématisons les modes d'appropriation spécifique de l'AE par le territoire et ses acteurs par le biais d'une approche lancastérienne (Lancaster, 1966) et de ses prolongements en termes de « characteristics-based models ». Nous concevons, dans ce cadre, l'AE comme un bien-système sur lequel s'agrègent plusieurs types de fonctions, lesquelles sont actionnées par les territoires au regard de contraintes et d'opportunités spécifiques qui ont trait aux conditions infrastructurelles et réglementaires, ou bien à des critères d'ordres géographique et de densité de la population. En l'espèce, cette grille d'interprétation cherche à montrer que les séquences d'émergence sont propres à chacun des modèles d'électromobilité, eux-mêmes territorialisés.

Partie 1 :

Approche technico-économique de l'automobile électrique : Frontières et définitions ; potentialités et verrous

Maintes fois en situation de contester la position acquise du véhicule thermique par le passé, nous considérons que l'automobile électrique (AE) est entrée dans une nouvelle « fenêtre d'émergence », entendue comme une période limitée dans le temps durant laquelle se dessine une adéquation entre les exigences de l'environnement socio-technico-économique et une technologie effectivement mobilisable à court terme. Si l'un des points cruciaux dans les échecs passés provient du fait que l'AE réclamait de nombreux composants ne pouvant être développés que spécifiquement pour lui, de sorte que notamment « aucun transfert de technologie n'était possible avec d'autres secteurs industriels qui auraient poussé au développement de batteries de grande taille et de haute densité en énergie » (Beaume et Midler, 2009, p.6), il semble que cet écueil puisse être contourné désormais. Dans le sillage des théoriciens des cycles technologiques (Abernathy et Utterback, 1978 ; Gille, 1979 ; Dosi, 1982), partageant le constat que le changement technique a un impact profond et de nature exogène sur le rythme et la trajectoire de développement des industries et des firmes, nous souhaitons ouvrir la « boîte noire » de la technologie (Murmann et Frenken, 2006, p.932). Dans la conduite de cet exercice, nous emprunterons notamment à l'économie évolutionniste les concepts de « régime technologique » (Nelson et Winter, 1982 ; Winter, 1984) et, de manière plus diffuse, ceux de « système sectoriel d'innovation et de production » (Malerba, 2002.a, b) et de « système technologique d'innovation » (Carlsson et al., 2002).

Dans cette première partie, nous chercherons à apprécier les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE en fondant notre analyse sur les caractéristiques technologiques de ce bien, puis en dérivant sur la dimension économique. Il s'agira, à la fois, de familiariser le lecteur à l'objet technique [complexe] étudié et de présenter l'industrie de l'AE en dressant un « état des lieux » de son organisation et de ses lois d'évolution. Corollaire de notre approche d'économiste industriel, nos investigations privilégieront les échelles micro et méso-économique pour repérer et cartographier les principes techniques et économiques façonnant les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE. L'objectif assigné à cette partie est d'appréhender quelles sont les principales propriétés technico-économique de l'AE, ainsi que de relater quels sont les verrous à son émergence et leur portée. Dans une logique de grossissement graduel des frontières de l'analyse, notre analyse technico-économique de l'AE comptera deux phases. Dans le **Chapitre 1**, nous mobiliserons le concept de régime technologique et le déclinons successivement au cas des batteries d'accumulateurs puis à celui de l'ensemble formé par son moteur électrique et l'électronique de puissance. De manière complémentaire, dans le **Chapitre 2**, nous analyserons comment l'AE bouleverse les mécanismes classiques de génération de la valeur chez les constructeurs automobiles et, en écho, comment il induit un paradigme technico-économique profondément renouvelé.

Chapitre 1 : Analyse technico-économique du cœur technologique de l'automobile électrique. Les batteries d'accumulateurs et la motorisation électrique soumises au révélateur du concept de régime technologique :

Dans une perspective évolutionniste, selon laquelle les trajectoires technologiques ne reposent pas sur la supériorité technique ou économique – *a priori* – d'une solution technologique, mais sur un processus institutionnel et sociopolitique de production de compromis entre diverses communautés d'intérêt (Anderson et Tushman, 1990), nous entendons tracer les contours du « régime technologique » de l'AE. Cette notion fait référence aux caractéristiques intrinsèques des technologies (Breschi, Malerba et Orsenigo, 2000) et son objet est d'enrichir la compréhension du changement technique par la prise en compte de facteurs qualifiés d'« invariants technologiques », qui permettent d'expliquer les régularités que l'on observe dans la dynamique du progrès technique. Pour les tenants de cette notion, les modèles d'innovation (ou *innovation patterns*) sont spécifiques aux technologies et l'éventail des stratégies efficaces découle de l'environnement cognitif associé à la technologie (Larrue 2004). Cette approche ne sous-entend pas que la technologie est figée, mais que certaines de ses caractéristiques structurent les points de faiblesse communs auxquels vont se confronter les acteurs impliqués dans la technologie en question. Dans une entreprise d'identification des points de friction de l'émergence de l'AE, la notion de régime technologique privilégie ainsi l'étude de la dimension temporelle et celle des déterminants de l'évolution d'un système non seulement technique, mais technico-économique (Koléda, 2004).

Selon Malerba et Orsenigo (1993), quatre critères composent un régime technologique, dont les acceptions varient selon l'angle de vue adopté (**Tableau 1** : Les conditions d'un régime technologique). Si le critère de la base de connaissances pourra apparaître implicitement ça et là dans notre analyse, nous nous concentrons néanmoins sur les seules conditions d'appropriabilité, d'opportunité et de cumulativité technologiques. En cherchant à se placer à la confluence des enjeux techniques et économiques, ces trois critères constituent, selon nous, des conditions nécessaires et suffisantes à une analyse de l'AE focalisée sur l'appréhension de ses conditions d'émergence et de diffusion. Notons que l'association du concept de régime technologique et de la problématique des batteries d'accumulateurs n'est pas récente, puisqu'elle a été initiée par Pavitt (1998). Il revient néanmoins à Larrue (2002 ; 2004) de lui avoir donné ses lettres de noblesse pour l'analyse des batteries d'accumulateurs avancées pour AE.

Tableau 1 : Les conditions d'un régime technologique :

Caractéristiques	Acception étroite	Acception large
Conditions d'opportunité	Probabilité d'innover pour un montant donné de ressources investies en R&D (Doloreux et Bitard, 2005)	Facilité d'accès à l'innovation par des innovateurs potentiels ou fertilité d'un domaine de recherche (Guellec, 1999)
Conditions d'appropriabilité	Capacité des innovateurs à protéger les innovations de l'imitation via les droits de la propriété intellectuelle	Capacité globale des innovateurs à protéger leurs innovations de l'imitation (Cohen, 1995)
Conditions de cumulativité	Degré avec lequel des nouvelles technologies se construisent sur la base de technologies existantes	Caractère cumulatif du processus d'innovation et durée de vie d'un secteur économique (Koléda, 2004)
Caractéristiques de la base de connaissances	Spécificité (tacites/spécifiques ; codifiées/génériques) et complexité (variété des corps scientifiques et technologiques) des connaissances de base	

Source : Adapté de Larrue (2004, p.34)

Pour compléter l'analyse des dynamiques d'innovation et saisir au mieux le renouvellement technologique des secteurs industriels, notre analyse du régime technologique de l'automobile

électrique débordera sur les concepts de « système sectoriel d'innovation et de production » (Malerba, 2002.a, b) et de « système technologique d'innovation » (Carlsson et al., 2002). Remarquons que les concepts de régime technologique et de « système sectoriel d'innovation et de production » se superposent déjà en partie sous la plume de Malerba (2002.a, b). Le concept de « système sectoriel d'innovation et de production » fait référence à « un ensemble de produits établis et neufs, dédiés à une utilisation spécifique, et un ensemble d'acteurs impliqués dans des interactions via le marché et hors marché, en vue de produire et vendre ces produits » (Malerba, 2002.b, p.248). « Les systèmes sectoriels possèdent une base de connaissances, des technologies, des facteurs de production et une demande » (Ibid.), tandis que « les unités d'analyse sont les individus et les organisations à différents niveaux d'agrégation, dotés de processus d'apprentissage, de compétences, de structures organisationnelles, de croyances, d'objectifs et de comportements spécifiques » (Ibid.). Le concept de système sectoriel d'innovation s'éloigne peu de celui de « système technologique d'innovation » (Carlsson et al., 2002), puisque ce dernier s'envisage comme un système regroupant différentes entreprises autour du même *artefact technologique* ou d'un même produit nécessitant, dans certains cas, des connaissances provenant de différents secteurs d'activité. Nous estimons que l'intrication de la notion de régime technologique au concept générique des systèmes d'innovation précisera et enrichira notre connaissance des propriétés propices ou non à la naissance et à la dissémination des innovations (Caccomo, 2005). En plaçant l'emphasis sur une double dimension technique et économique, ils identifieront, en effet, les facteurs gouvernant la nature des verrous auxquels se confronte l'AE dans ses velléités d'émergence et de diffusion.

Au total, nous analyserons les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE au regard de la nature des connaissances technologiques et des procédures organisationnelles mobilisées par

les industriels pour chercher et produire de la nouveauté, de même qu'à travers leur encastrément dans les interactions de marché et dans leur contexte institutionnel. Nous débuterons notre analyse par le cas des batteries d'accumulateurs et la prolongerons par le cas de la motorisation électrique.

1. Le régime technologique des batteries d'accumulateurs.

D'un point de vue technique, la batterie d'accumulateurs constitue le principal élément névralgique d'une AE par la complexité de son fonctionnement et par le défi de l'amélioration de ses performances. D'un point de vue économique, elle est également incontournable par la place qu'elle occupe dans la chaîne de la valeur de l'AE. A la confluence de ces deux observations, les réflexions de nombreux commentateurs, acteurs de la filière automobile (Hochfeld, 2010)⁸ ou consultants (BCG, 2010 ; Roland Berger, 2011), soulignent que la batterie d'accumulateurs agrège les principaux verrous techniques et économiques affectant les performances et la rentabilité de l'AE. Pour sonder cette assertion, nous abordons l'analyse technico-économique des batteries d'accumulateurs en quatre temps. Une fois leur mode de fonctionnement détaillé, nous passerons les technologies de batteries avancées au crible des conditions d'opportunité, de cumulativité et d'appropriabilité technologique. Par la suite, nous analyserons les fondements et la dynamique de la demande et de l'offre pour les batteries avancées. Ces jalons fourniront le matériau nécessaire pour réduire le spectre de notre analyse à la compréhension de la dynamique et des enjeux liés à la baisse du coût des batteries fondées sur la technologie au Lithium-ion.

⁸ « *Battery will be core of electric vehicles and main part of the value chain ; improvement of competences for battery technology and production is necessary* » (Hochfeld, 2010).

1.1. Fonctionnement des technologies de batteries d'accumulateurs avancées.

Communément, une batterie (ou accumulateur électrochimique) est un système qui convertit de l'énergie chimique en énergie électrique. Son objet est de stocker l'énergie électrique et à la restituer ultérieurement dans une unité de mesure exprimée en wattheure (Wh) ou en kilowattheure (kWh). Ce fonctionnement repose sur des réactions électrochimiques entre deux électrodes, l'anode et la cathode (Aboulaich, 2007). La propriété de certains couples d'électrodes, qualifiés de couples électrochimiques, réside dans leur capacité à modifier leur structure moléculaire de manière réversible. Cette propriété permet à la batterie d'accumulateurs d'accéder à son caractère rechargeable. Techniquement, les réactions – d'oxydoréduction – chimiques sont activées au sein d'une cellule élémentaire, elle-même située dans un électrolyte solide ou liquide (Ibid.). L'assemblage de cellules élémentaires, regroupées dans des packs, façonne la batterie d'accumulateurs. On distingue plusieurs technologies d'ores et déjà « sur étagères » éligibles à la propulsion électrique (Minefi, 2006). Nous les présentons succinctement et sous une entrée technique en **Annexe 1** (Technologies de batteries actuelles éligibles à la propulsion électrique, p.565).

Les condensateurs constituent un principe alternatif de stockage des charges électriques, inventés par le physicien Von Kleist en 1745. Capables de fournir ou d'emmagasiner de l'électricité de manière quasi instantanée, les condensateurs sont insensibles au phénomène d'usure lié aux réactions chimiques propres aux batteries. Ils bénéficient néanmoins d'une densité énergétique massique modeste, y compris dans leurs versions sophistiquées, les supercondensateurs (Westbrook, 2001). Face à cette limite, ces derniers sont destinés à se cantonner à des niches de marché où le poids de volumineux packs n'est pas un frein à leur usage, tels que pour les tramways ou l'hybridation légère des véhicules routiers et il semble

que ce soit surtout en complément des batteries que leur avenir se dessine. Probablement s'agira-t-il des accumulateurs au lithium, les plus prometteuses pour la propulsion électrique. Leur supériorité, qui s'est construite par le biais de recherches menées par des consortiums de dimension internationale au long des années 1990 (Larrue, 2002, 2004), se fonde sur maints aspects techniques, dont nous analyserons les répercussions économiques ultérieurement.

Techniquement, la réaction d'oxydoréduction des batteries au lithium s'opère à travers un transfert d'ions (ou de phosphate de fer) entre l'anode et la cathode (**Annexe 2** : Schéma représentatif du fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion, p.567). Plus précisément, le lithium relâché par l'électrode négative (anode) sous forme ionique (ou phosphatée) vient s'intercaler dans le réseau cristallin du matériau actif de l'électrode positive (cathode). Réciproquement, cette quantité de lithium est exactement compensée par le passage d'un électron dans le circuit externe, générant ainsi un courant électrique (CIRENE, 2000). La densité énergétique libérée par ces réactions d'oxydoréduction est à la fois proportionnelle à la différence de potentiel entre les deux électrodes et à la quantité de lithium qui se sera intercalée dans l'électrolyte. Or, dans la mesure où le lithium est en même temps le plus léger et le plus réducteur des métaux, les batteries d'accumulateurs comportant du lithium jouissent de densités massique et volumique très supérieures à celles des batteries Plomb-Acide usuelles (Ibid.). A cette densité énergétique importante, les batteries au lithium ajoutent le fait d'être dépourvues d'effet mémoire et de ne nécessiter aucun entretien particulier.

Trois types d'accumulateurs actuellement industrialisés s'appuient sur la technologie lithium, et chacun se singularise par des propriétés spécifiques en termes de performances, de stabilité thermique ou encore de coût de revient (Aboulaich, 2007). En premier lieu, on distingue les batteries Lithium-Métal et Lithium-Ion. Lorsque l'électrode négative prend la forme de

lithium métallique, la filière technologique est appelée Lithium-Métal. Lorsque celle-ci mobilise une électrode négative à base de carbone ou de graphite, la filière technologique relève du Lithium-Ion. Chacune d'elles peut s'associer à un électrolyte liquide ou bien solide (gélifié), lequel leur donne le qualificatif de technologie polymère (respectivement LMP pour Lithium-Métal-Polymère et Li-Po pour Lithium-Ion-Polymère). Dans cette physionomie, elles sont, en outre, particulièrement permissives en terme d'architecture, car rendues malléables par des éléments fins, plats et de toutes formes. Un troisième type d'accumulateur associe lithium et phosphate de fer (Li-FePO_4). Pêchant par une densité énergétique minorée, mais très sûre, affichant une durée de vie élevée et des coûts de production sensiblement inférieurs aux technologies lithium alternatives, cette batterie fait l'objet de recherches poussées par le CEA (Commissariat à l'Energie atomique et aux énergies Alternatives) en France.

Il est d'usage de distinguer les performances d'une batterie d'accumulateurs à l'aune de trois critères. Au premier chef, la densité de puissance massique est exprimée en Watt par kilogramme (W/kg) et correspond à la puissance instantanée que la batterie peut fournir et absorber, ce qui détermine la durée de sa recharge. La densité d'énergie massique (ou volumique) est exprimée en Wattheure par kilogramme (Wh/kg , resp. Wh/L) et représente la quantité d'énergie stockée par unité de masse d'accumulateur. Il s'agit d'un rapport entre volume et énergie dégagée, duquel découle l'autonomie de l'AE. Enfin, la « cyclabilité » des accumulateurs a trait à leur durée de vie, c'est-à-dire le nombre de cycles de charge et décharge à la suite desquels la batterie peut continuer à restituer un niveau d'énergie sensiblement égal après chaque nouvelle recharge. Ces trois critères, auxquels on peut ajouter, d'amont en aval de la filière, des facteurs liés à la faisabilité, à la sécurité via la résistance à la surchauffe, ou encore, au recyclage, constituent autant de clés de lecture permettant de

distinguer les technologies de batteries entre elles (**Tableau 2** : Tableau comparatif des technologies d'accumulateurs – actualisé 2012).

Tableau 2 : Tableau comparatif des technologies d'accumulateurs – actualisé 2012 :

Critères	Pb	Ni-Cd	Ni-MH	ZEBRA	Li-Ion	Li-Po	LMP	LiFePO4
Puissance massique (W/kg)	700	N.C.	900	200	1500	250	320	800
Densité massique (Wh/kg)	40	60	80	120	180	200	160	200
Densité volumique (Wh/L)	100	120	270	180	270	300	140	220
Nombre de cycles	800	2000	1200	1500	1500	2500	2500	4000
Autodécharge mensuelle	5%	>20%	>30%	100%	10%	10%	5%	5%
Performances ramenées à une batterie d'accumulateurs d'une puissance de 22 kW								
Poids approximatif (kg)	550	370	275	183	138	110	123	110

Sources : AVERE (2012) ; Barchasz (2011) ; Postel-Vinay (2009) ; Schwartz et Gindroz (2005)

Fruits des espoirs placés en eux et, conséquemment, des lourds investissements consentis par les industriels, d'importants progrès sont attendus au niveau des performances des batteries. Néanmoins, si la densité énergétique des batteries au Lithium-Ion a plus que doublé depuis son introduction sur le marché en 1991, certains travaux d'économistes conduisent à nuancer ces attentes. Larrue (2004) souligne la spécificité du régime technologique des accumulateurs au lithium, technologie qualifiée de « revêche », tandis que Fréry (2000) pointe la régulière candeur des chimistes et économistes quant au rythme d'amélioration des performances des batteries avancées pour dégager le principe d'une « technologie éternellement émergente ».

1.2. Degrés d'opportunité et de cumulativité des batteries pour l'électromobilité.

Revenant sur les composantes du régime technologique, Larrue (2004) propose de caractériser le régime technologique des batteries avancées (**Tableau 3** : Le régime technologique des batteries avancées) et met en évidence l'existence d'un faible taux d'opportunité, d'une forte

appropriabilité, d'une faible cumulativité entre différentes générations de batteries, ainsi que le faible soutien de connaissances scientifiques peu solides et maîtrisées.

Tableau 3 : Le régime technologique des batteries avancées :

Conditions	Caractéristique	Déterminants principaux des caractéristiques
Cumulativité	Faible	Spécificités des technologies et générations de batteries, reposant sur des couples électrochimiques différents
Opportunités	Faible	Petit nombre pratiquement possible de couples électrochimiques
Appropriabilité	Forte	Activité d'ingénierie spécifique progressant par essais et erreurs
Base de connaissances	Complexe et spécifique	Disciplines scientifiques sous-jacentes multiples, associées à des connaissances très empiriques

Source : Larrue (2002), p.35

La forte appropriabilité des batteries avancées provient de ce que « le développement d'une batterie est une activité d'ingénierie complexe, avançant par essais et erreurs, affinant progressivement le design des cellules, parfois au moyen de combinaisons très complexes de matériaux pouvant rester inconnues des autres producteurs » (Larrue, 2002, p.35). La faible cumulativité des batteries avancées est liée au degré élevé d'indépendance technologique entre les générations et entre les technologies. La base de connaissances apparaît complexe et spécifique, en particulier à l'égard des recherches en chimie du solide, en métallurgie et en science des matériaux, que toutes les technologies de batteries nécessitent en première maille, et aux connaissances deux à deux spécifiques qu'elles mobilisent, telles que la chimie des carbones, la thermodynamique des liquides, la science des polymères et autre chimie des liens. Enfin, le faible degré d'opportunité des batteries repose, avant tout, sur le nombre fini et relativement limité de couples électrochimiques éligibles à l'électromobilité.

A l'aune de ces constats, tout porte à croire que les technologies de batteries avancées resteront, à terme, très éloignées des 10.000 Wh/kg offerts par les carburants liquides.

Pourtant, les batteries au lithium recèlent des qualités fondamentales leur assurant des marges de progrès importantes et façonnant un degré d'opportunité assez favorable. Précisément, les efforts des industriels portent sur cinq domaines dans lesquels les batteries avancées peuvent et doivent s'améliorer, la densité énergétique, le temps de charge, la longévité, la sûreté et le coût des batteries d'accumulateurs (Fontez et Grumberg, 2010).

(a) La densité énergétique conditionne l'autonomie de l'AE et dépend de la capacité des électrodes à contenir le maximum de lithium ionique ou phosphaté par unité de masse. Sur la cathode, les recherches se polarisent sur le nickel et l'air ambiant (Li-Air), aux rendements très élevés, mais butant sur un faible pouvoir de décharge. La batterie Li-Air est ainsi commercialisée dans un format non rechargeable pour les appareils auditifs notamment. Une autre voie vise à remplacer le graphite de l'anode par du silicium, plus performant en termes de stockage. Toutefois, ce dernier se dégrade après peu de cycles de charge. Une solution est de substituer le matériau massif par des nanofils, mais leur maîtrise industrielle reste lointaine.

(b) Le temps de charge des packs de batterie pour AE est, quant à lui, actuellement compris entre 5 et 10 heures, suivant la technologie de batterie et l'ampérage de la prise de recharge. Si une intensité de 200 ampères, soit l'intensité généralement accordée à une installation industrielle, est susceptible de recharger une AE en une heure dans l'absolu, la faible longévité de la batterie dans ces conditions et l'infime éventualité d'une modernisation des systèmes électriques domestiques invitent à investiguer d'autres champs. L'avenir est au compromis ou bien à l'adoption d'anodes composées de matériaux plus performants.

(c) La durée de vie de la batterie est liée à l'afflux de matière qui, à chaque cycle de charge-décharge, dégrade les électrodes. Pour lutter contre ces effets, des cathodes en alliage résistant

sont privilégiées, mais le corollaire de cette stabilité est souvent une densité énergétique minorée. En outre, le mode de conduite de l'AE et le climat ont une influence sensible sur le cyclage, puisqu'une température anormalement basse ou élevée de la batterie déclenche des réactions chimiques occasionnant autodécharge et dégradation.

(d) La sûreté des batteries est centrale, alors que le lithium, agressif sous sa forme métallique, ronge l'électrolyte, ce qui alimente une surchauffe, voire engendre des explosions provoquées par des courts-circuits entre les électrodes. Les risques d'emballement thermique peuvent être prévenus et contrôlés en intercalant des feuillets de carbone entre les électrodes ainsi que par des capteurs de tension et de température actionnant fusibles et coupe-circuits qui stoppent le courant en cas d'avarie. Pour contourner cette sophistication onéreuse, pesante et fragilisant les performances des batteries, deux voies sont empruntées. Il s'agit, d'une part, de gélifier l'électrolyte et, d'autre part, de mobiliser des matériaux ternaires associant le cobalt à d'autres métaux, tels que le manganèse ou l'aluminium.

(e) Finalement, le coût de production des batteries – dont l'importance tient moins à la présence de lithium qu'à l'usage du cobalt, lequel représente la moitié du poids de la cathode – est central. Cette prééminence oriente la recherche vers l'usage de métaux moins coûteux qui viendraient s'y substituer, à l'image du phosphate de fer, abondant et bien moins onéreux. Cette solution est néanmoins fragilisée par une querelle autour de la propriété de ses brevets.

Le défrichage de ces cinq critères de performance des batteries avancées met en exergue un degré d'opportunité technologique singularisé par des pistes d'améliorations nombreuses et prometteuses, mais bornées par le principe de compromis autour duquel ces potentialités s'articulent. Ces propriétés étayent d'ailleurs l'existence d'une dualité. Faut-il converger vers

la standardisation technologique de batteries convenant aux usages du plus grand nombre, ou bien vers la conception de batteries aux performances ajustées à des usages spécifiques ? La nécessité de faire intervenir rapidement les économies d'échelle à la production modèle largement la réponse apportée par le marché. Les objectifs des laboratoires de recherche publics et privés se concentrent ainsi sur la densité massique et la réduction du coût des batteries. En termes chiffrés, l'autonomie des AE doit doubler à l'horizon 2015-2020, et les coûts de stockage doivent être divisés par deux (Philippin, 2010 ; Cornaert et Gay, 2010).

Afin d'évaluer l'horizon temporel de ces progrès potentiels et le respect de cette feuille de route, il peut être utile de dresser le « portrait robot » de la batterie moyenne intégrant la chaîne de propulsion de l'AE contemporaine. Il s'agit d'un pack d'accumulateurs de technologie Lithium-Ion d'une puissance de 22 kW permettant au véhicule de parcourir une distance de 185 à 210 kilomètres en 2012, contre 160 kilomètres en 2010. Câblages, carter et refroidissement compris, son poids de 250 kg est à comparer aux 80 kg d'un réservoir plein d'essence. Son coût de fabrication, sur le mode de la série, ressort à près de 12.750 euros en 2012, contre près de 16.000 euros. Cinq à huit heures de charge sont nécessaires pour revigorer la batterie, déchargée en totalité. Durant son cycle d'utilisation, depuis la production jusqu'au recyclage, l'impact écologique de ce pack de batterie sera tributaire de l'émergence d'une filière de recyclage du lithium performante.

Avant d'amorcer une transition vers une approche économique, résumons les verrous d'ordre technique auxquels sont soumises les technologies de batteries avancées. L'enseignement principal qui se dégage de ce développement est lié aux faibles degrés d'opportunité et de cumulativité technologique des batteries. La difficulté à capitaliser sur les recherches passées et les solutions spécifiques destinées à en lever les limites induisent, en effet, une évolution

sur la courbe d'apprentissage tâtonnante et inertielle. Notons pourtant que les limites technologiques des batteries d'accumulateurs ne jouent qu'à l'égard du moteur thermique, qui plus est, à usages et à périmètre constants. Par la suite, il sera nécessaire d'interroger en quoi ces performances peuvent ou non se superposer aux changements de comportements dans l'approche des déplacements et en quoi certains systèmes d'électromobilité peuvent s'adapter ou contourner ces limites. A plus court terme, voyons en quoi l'environnement économique est susceptible de façonner le degré d'appropriabilité et, dans une certaine mesure, le degré d'opportunité des batteries d'accumulateurs avancées, notamment en contribuant à focaliser les recherches sur la technologie Lithium-Ion.

1.3. Degré d'appropriabilité technologique des batteries avancées.

Une fois les principes de fonctionnement et les verrous techniques associés aux batteries étayés, nous abordons une approche qui replace la batterie au lithium dans son contexte industriel et économique. Pour appréhender le degré d'appropriabilité des batteries avancées, nous débutons par l'amont de la filière, en particulier les questions liées à l'état des réserves de lithium et de métaux rares. Dans un deuxième temps, nous analysons la dynamique de l'offre et de la demande formulées pour les technologies de batterie avancées. Notre objectif est double, présenter l'industrie de la batterie au lithium en dressant un « état des lieux » de l'offre et de son organisation et, par-là, identifier les facteurs clés de son développement.

Alors même qu'il constitue la pierre angulaire de la quasi-totalité des technologies de batterie destinées à l'électromobilité qui sont commercialisées actuellement, le lithium ne se trouve pas sur terre sous sa forme élémentaire. Pis, cet élément, pourtant abondant dans la nature, n'existe en concentration permettant une exploitation rentable qu'en peu d'endroits sur la

planète (**Annexe 3** : Distribution géographique des réserves mondiales connues en Lithium, p.567). Ces éléments rendent son exploitation industrielle, sa capacité à satisfaire la demande agrégée anticipée et son application à l'automobile particulièrement questionnant.

Au titre des sites de production de lithium, une zone de lacs salés fossiles (ou « salars »), située au confluent de l'Argentine, du Chili et de la Bolivie concentre 70% des ressources mondiales connues. Le reliquat se divise entre certains lacs salés au Tibet et des mines situées en Australie, Russie, Canada ou aux Etats-Unis. D'autres recherches accréditent l'existence de foyers en Afghanistan ou à proximité des « Monts Métallifères » de Saxe en Allemagne (Demos, 2010). La production de lithium s'est élevée à 28.800 tonnes en 2011 (Baylis, 2012), dominée par trois producteurs, dans une configuration d'oligopole à frange concurrentielle⁹. La structure oligopolistique du marché, couplée à une accessibilité relative du lithium, entraîne dans son sillage une augmentation sensible du prix de la tonne, passant de 350 dollars en 2003, à près de 4300 dollars en 2011. Précisons qu'il n'existe pas de bourse du lithium et que le prix de la matière est largement fixé par les grandes sociétés d'extraction en fonction de leurs coûts, de la demande mondiale, de leur production et de leur stratégie. Pour autant, gageons que le lithium n'est pas susceptible de mettre à mal l'équation économique de l'AE, en représentant uniquement 1% du coût d'une batterie à son cours actuel.

Le manque d'accessibilité de la ressource et l'importance de ses coûts doivent être interprétés à l'aune des applications industrielles du lithium et de l'étendue de sa demande. A ce titre, le lithium a pris une place prépondérante dans les accumulateurs des appareils nomades dès le milieu des années 2000 (26% des volumes en 2009), devant les lubrifiants (15%), la verrerie (14%), la céramique (10%) et la pharmacie (7%) (Karayan, 2009). Le pourcentage massique

⁹ Le Chilien SQM et les américains Chemetall Foote et FMC se sont arrogés 75% de la production en 2010.

en carbonate de lithium d'une batterie Lithium-Ion étant de 8%, un pack d'accumulateurs de 150 kg en contient 12 kg, soit trois mille fois plus que la batterie d'un téléphone portable. Néanmoins, avec une réserve mondiale connue en lithium de 58 millions de tonnes, il est théoriquement possible d'équiper 3,6 milliards d'AE (Meridian, 2008), à technologie de batterie et d'exploitation du lithium constantes, et 10 milliards à terme (Schott, 2010). En outre, compte tenu d'une recyclabilité de 98%, la ressource lithium ne semble pas être un facteur limitant au développement de l'AE. Cela n'empêche toutefois pas certains constructeurs automobiles d'adopter des stratégies de préemption en amont de la filière, en participant au financement et à l'exploitation de mines de lithium, respectivement en Argentine (Toyota) et en Bolivie (Bolloré).

Il semble ainsi que les réserves de lithium constituent un goulot d'étranglement seulement à court terme¹⁰, puisque les techniques d'extraction réclament, en l'état actuel, des améliorations significatives pour gagner en productivité et que pour le moment, certains pays ne disposent d'industrie ni d'infrastructures minières leur permettant d'exploiter pleinement ces ressources. Or, un développement à grande échelle trop rapide de l'AE pourrait achopper sur un aspect écologique en recourant à des techniques dégradant fortement l'environnement.

Si le spectre des réserves de lithium ne tend pas à constituer une barrière à l'éclosion du marché de l'électromobilité, la question des « terres rares » et son corollaire en termes de risques géopolitiques se profile néanmoins. Les « terres rares » représentent une combinaison de 17 éléments métalliques naturels utilisés pour la production d'un large éventail de produits de haute technologie, parmi lequel les aimants des moteurs électriques, très consommateurs de néodyme. Or, 97% de la production mondiale de ces terres rares proviennent de Chine,

¹⁰ Le Meridian International Research (Meridian, 2008), estimait en 2008 que l'augmentation de la production du lithium ne permettrait pas de satisfaire une révolution de la propulsion automobile dans la décennie 2010.

pays menant une politique de réduction de ses exportations de 5 à 10 % par année depuis 2005 (OVE, 2009.a). En privilégiant les besoins de son industrie nationale, la Chine se dote d'un avantage comparatif pour le développement de l'électromobilité (Masson, 2010 ; Rémy, 2010) et contribue à une redistribution des cartes économiques d'une ampleur assez inédite. Echaudés, les Etats-Unis, l'Union européenne et le Japon ont déposé une plainte contre la Chine auprès de l'Organisation mondiale du Commerce (OMC) en 2009 et obtenu gain de cause le 24 août 2011. La situation actuelle reste contrastée. Si la Chine a interjeté appel de cette décision, dans le même temps, certains pays rouvrent (Etats-Unis) ou envisagent de rouvrir (Suède) des sites d'exploitation de « terres rares » afin de s'affranchir de toute dépendance, mais également parce que la hausse des prix des métaux rend leur exploitation de nouveau rentable.

Le degré d'appropriabilité des batteries avancées au lithium est limité par le manque d'accessibilité des ressources mondiales en lithium et en métaux rares, du fait de facteurs géologique, technique, économique et politique. Au gré d'évolutions contextuelles, telle que l'exploitation de nouveaux gisements, la découverte de nouvelles techniques exploratoires, ou bien encore la survenue de compromis géopolitiques, ce constat est néanmoins appelé à évoluer. En tout état de cause, ces éléments pèsent sur la diffusion de l'AE plutôt que sur son émergence. Gageons que le développement graduel du marché de l'AE ira de pair avec un dénouement progressif de ces contingences.

1.4. Etendue du marché : la demande formulée pour les batteries avancées.

Après une période faste, correspondant à la diffusion en masse des appareils électroniques nomades, qui ont propulsé la batterie Lithium-Ion sur le devant de la scène et contribué à la

mainmise des fabricants asiatiques sur cette technologie (**Tableau 4** : Parts de marché des principaux fabricants de batteries Lithium-Ion en 2010), le marché des accumulateurs chimiques n'a pas été épargné par la crise financière puis économique de la fin de la décennie 2000. En 2010, le marché représente toutefois près de 4 milliards de batteries vendues et un chiffre d'affaires évalué à 15 milliards d'euros (BCG, 2010). Notons que les menus accumulateurs destinés aux appareils électroniques nomades diffèrent des accumulateurs de forte puissance, car si la technologie et les principes de fonctionnement sont analogues, les contraintes thermiques imposent, quant à elles, la maîtrise de briques de connaissances spécifiques, qui constituent des barrières à l'entrée significatives.

Tableau 4 : Parts de marché des principaux fabricants de batteries Lithium-Ion en 2010 :

Producteur	Nationalité	2008	2010
Sanyo	Japon	22%	23%
Samsung SDI	Corée du Sud	15%	15%
Sony	Japon	15%	14%
BYD	Chine	10%	8,3%
LG Chem	Corée du Sud	9%	7,4%
BAK	Chine	9%	6,6%
Panasonic	Japon	9%	6%

Source : Lowe, Tokuoka, Trigg et Gereffi (2010), p.18.

La demande formulée aux producteurs de batteries de forte capacité correspond à différents usages et marchés. Traditionnellement, deux grands types d'applications de stockage de l'énergie sont identifiés (CGDD, 2009). D'une part, il s'agit des applications stationnaires de batteries qui constituent alors un maillon du système électrique à travers leur propriété de réserve d'électricité. Nous traiterons cette physionomie plus en avant (**Cf. Chapitre 2**). D'autre part, il s'agit de la catégorie générique des applications embarquées. Outre les véhicules électriques et hybrides, cette catégorie comprend les transports aéronautique et

spatial. Les batteries d'aviation, équipant deux tiers des avions civils et militaires du monde (Saft, 2009), assurent deux fonctions vitales sur les aéronefs, l'alimentation électrique autonome pour le démarrage des moteurs et l'alimentation électrique d'urgence en cas de panne du système de génération électrique en vol. Les batteries destinées à l'univers spatial, d'une puissance de 15 kW assez similaire à celle des AE, permettent d'assurer la continuité du fonctionnement des satellites commerciaux géostationnaires terrestres lorsque les panneaux solaires sont momentanément inopérants, lors d'éclipses ou d'actes de maintenance, en particulier.

L'existence de marchés alternatifs à l'électromobilité est importante, au moins à deux titres. Dans une certaine mesure, il s'agit d'abord de rentabiliser les investissements des industriels par le biais des économies d'échelle et des effets d'expérience. Notons que les applications stationnaires génèrent un chiffre d'affaires de 475 millions de dollars en 2010 (Avicenne, 2012). Il s'agit ensuite de financer des pistes de recherche alternatives et novatrices grâce à la solvabilité et aux attentes spécifiques des demandeurs d'ordres provenant des secteurs aéronautique, spatial et de la défense. Ces deux types d'externalités sont complémentaires.

Pour sa part, l'électromobilité devrait représenter une proportion conséquente de la demande de batteries Lithium-Ion, estimée à 40% en 2018 (Pike Research, 2009), constituant ainsi un relais de croissance. Les projections réalisées sont hétérogènes et s'inscrivent dans des anticipations de parts de marché des AE, elles-mêmes, très distribuées. A l'horizon 2015, si le producteur de batteries A123Systems évalue ce marché à 22 milliards de dollars, le cabinet de conseil en stratégie Roland Berger (2011) le chiffre à 9 milliards de dollars. A plus long terme, cet écart ne se résorbe pas, puisque le Boston Consulting Group (BCG, 2010) estime le marché à 25 milliards de dollars en 2020, contre 50 milliards de dollars pour Roland Berger

(2011). Cette dernière projection est consolidée par l'évaluation du Center for Automotive Research (2011), évoquant un chiffre d'affaires annuel de 77 milliards de dollars en 2025. Autre signal intéressant des revenus attendus des accumulateurs dévolus à l'électromobilité, l'américain A123Systems, une spin-off issue du MIT en 2001, s'est brillamment introduit sur le Nasdaq en Septembre 2009. Dans un contexte morose, l'entreprise a levé 380 millions de dollars et son cours de bourse a bondi de 50% lors du premier jour de cotation, valorisant la capitalisation à près de 2 milliards de dollars, alors même que l'entreprise a jusqu'alors toujours affiché des pertes (Dupin, 2009).

1.5. Le marché des batteries avancées : la dynamique de l'offre.

En réponse aux promesses liées à la diffusion à grande échelle de l'AE, le marché des batteries Lithium-Ion est voué à se reconfigurer. Cette reconfiguration, entamée au milieu des années 2000¹¹, met aux prises de nombreux acteurs, disposant d'atouts et faiblesses propres. Destiné à devenir une source essentielle de revenu pour les producteurs de batteries, l'ouverture du marché de l'électromobilité constitue une occasion d'asseoir leur suprématie pour les fabricants asiatiques, et une opportunité de rebattre les cartes du jeu concurrentiel pour les producteurs nord-américains et européens (**Figure 2** : Capacités de production en batteries avancées : un panorama mondial en 11/2011). Corollaire de la stratégie de volumes poursuivie par les acteurs, Roland Berger (2011) estime que 80% du marché seront détenus par cinq fournisseurs en 2015.

¹¹ L'acte fondateur est la création d'une *Joint Venture* entre le français SAFT et l'américain Johnson Controls en 2006. Elle est suivie par l'acquisition du Canadien Avestor par le groupe français Bolloré en 2007.

Figure 2 : Capacités de production en batteries avancées : un panorama mondial en 11/2011 :



Source : Avicenne (2012) ; Roland Berger (2011)

Face à ces enjeux, fabricants de batteries et constructeurs d'AE se rapprochent sous la forme de simples contrats de fourniture, ou de véritables stratégies de synergie, via des prises de participation ou des alliances industrielles (**Tableau 5** : Accords entre fabricants de batteries et constructeurs automobiles en 11/2011 – **Annexe 4** : Structuration de la filière des batteries Lithium-Ion AE en 04/2011, p.568). Pour les fabricants de batteries, ces accords doivent assurer des débouchés suffisants pour rentabiliser leurs investissements. Pour les constructeurs automobiles, il s'agit de garder la main sur un élément central de la valeur ajoutée de l'AE, d'autant qu'une migration de la valeur revenant aux équipementiers est anticipée. Elle passerait de 40% pour un véhicule thermique, à 75% pour une AE (Xerfi, 2010). Il s'agit également de mieux contrôler l'évolution des coûts des batteries et, par-là, de neutraliser les comportements opportunistes des fabricants de batteries.

Tableau 5 : Accords entre fabricants de batteries et constructeurs automobiles en 11/2011 :

Constructeur auto	%	Filiale	%	Fabricant de batteries
Renault-Nissan	51%	Automotive Energy Supply (AESC)	49%	NEC – NEC Tokin
Subaru				
Daimler-Benz	49,9%	Li-Tec	50,1%	Evonik
	90%	Deutsche Accumotive Gmbh	10%	
		Filiale VE Chinois		BYD
	10%			Tesla
Tesla				Panasonic-Sanyo
Toyota	80%	Panasonic EV Industry	20%	
Mitsubishi Motors	15%	Lithium Energy Japan	51%	GS-Yuasa
Peugeot-Citroën				
Honda	49%	Blue Energy	51%	
Volkswagen				Toshiba
		Varta Microbattery Gmbh	100%	Varta Microbattery
				Evonik
				BYD
SAIC				
	51%	ATBS	49%	
Chrysler				A123Systems
General Motors				Hitashi VE
	100%			
Hyundai, Kia				LG Chemicals
Samsung	50%	SB Li-Motive/Cobasys	50%	Samsung-Bosch
BMW				
				Johnson Controls/SAFT
Ford				

Source : version actualisée de BONNATERRE (2010)

En parallèle des acteurs industriels, les pouvoirs publics se saisissent de la problématique des technologies de batteries avancées. Trois types de logiques sont à l'origine de l'investissement de la sphère publique (Michaux, 2010). La première est d'assurer un nouveau relais de

croissance, particulièrement en France, aux Etats-Unis et en Allemagne. Le deuxième critère a trait à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en lien avec le Protocole de Kyoto¹². Le troisième critère est lié à la problématique de dépendance aux importations de pétrole. En écho à ces objectifs souvent territorialisés, les stratégies qui s'élaborent sont également dépendantes du contexte. La feuille de route des pouvoirs publics coréens, chinois et japonais s'articule autour d'une coordination plus étroite entre les laboratoires de recherche et les industriels (Postel-Vinay, 2009). La tâche des pouvoirs publics américains ou français est plus ardue puisqu'elle consiste à créer une filière des batteries au lithium.

Aux Etats-Unis, l'*American Recovery and Reinvestment Act* mobilise 789 milliards de dollars et bénéficie à la filière AE à hauteur de 2,4 milliards de dollars. Pour 1,5 milliards de dollars, cette somme est consacrée à la recherche et développement de batteries avancées (Karayan, 2009). Une dizaine d'entreprises sont ainsi invitées en Décembre 2008 à s'associer sous la bannière de la *National Alliance for Advanced Transportation Battery Cell Manufacture*, avec pour objectif d'ouvrir des unités de production à fortes capacités à l'horizon 2014 (Demos, 2010). En Allemagne, l'ensemble des projets de recherche portant sur l'AE est piloté par une plateforme unique dénommée *German Nationale Plattform Elektromobilität*. A l'appui d'un plan d'investissement de 500 millions d'euros pour la construction d'une filière de batteries avancées, cette plateforme coordonne trente instituts de recherche sur les batteries avancées structurée autour de l'équipementier Bosch et d'un tissu dense de PME (OVE, 2010).

En France, la filière batteries avancées se structure autour de deux éléments complémentaires situés en amont de la filière. En premier lieu, une mise en réseau de laboratoires académiques

¹² L'AE « décarboné » est au carrefour de politiques publiques engageant, des deux côtés de l'Atlantique, des choix de société revus. En Europe, les engagements du conseil européen de Décembre 2008 imposent de réduire de 20% les émissions de l'Union d'ici 2020. Pour leur part, les Etats-Unis ratifient en Mai 2009 un accord non contraignant portant sur la réduction de 5% de leurs émissions par rapport à leur niveau de 1997.

et d'industriels s'opère sous l'impulsion de l'Etat. Le cœur de ce réseau de recherche dans le domaine des batteries regroupe le CNRS pour la recherche fondamentale, le CEA pour la recherche appliquée, le prototypage et les tests, EdF et l'INERIS. Ce noyau travaille de concert avec des laboratoires académiques, ainsi que Renault, EADS, Saft, Arkema, ou encore, Air Liquide (Demos, 2010). Outre de fédérer et de coordonner les acteurs de la filière, son objectif est d'ouvrir un portefeuille de brevets aux industriels. En second lieu, la démarche française se singularise par un large soutien à la recherche préindustrielle qui se matérialise par l'introduction d'une plateforme baptisée « STEEVE » (Stockage d'Energie Electrochimique pour Véhicules Electrique), véritable courroie de transmission entre la fabrication de batteries en petites séries et leur passage à un stade industriel. Financée à 70% par l'Etat et estimée à 11 millions d'euros, cette plateforme a été inaugurée en Mars 2009.

Dans un exercice d'appréhension de la dynamique de la demande et de l'offre formulées pour les technologies de batteries avancées, nous avons dressé un état des lieux de l'organisation de cette industrie et de son encastrement au contexte institutionnel. Notre examen souligne la combinaison d'approches « *technology-push* » – où l'aisance des firmes à exploiter de nouvelles opportunités est associée à leur capacité à accéder à de nouvelles connaissances (Nelson et Winter, 1977 ; Cohen et Levinthal, 1990) – et « *demand-pull* », où les conditions de marché orientent fortement le rythme et le sentier d'innovation (Schmookler, 1962 ; 1966), dans des temporalités et des agencements propres mais compatibles, ce qui constitue une condition favorable au processus d'innovation (Mowery and Rosenberg, 1979). D'une part, les recherches sur les batteries avancées s'inscrivent dans une trajectoire imprimée de longue date par l'essor des appareils électroniques nomades qui ont propulsé la batterie Lithium-Ion sur le devant de la scène. Cet élément est capital car il semble induire une standardisation *de facto* (David et Greenstein, 1990) sur la technologie du Lithium-Ion, la grande majorité des

producteurs y adhérant, sur l'autel des effets d'expérience. D'autre part, cette dynamique d'innovation se combine à une double dialectique d'exploitation et d'exploration qui la pérennise, car l'étendue du marché des batteries avancées maximise les effets d'échelle et d'envergure et offre l'opportunité d'expérimenter des choix technologiques alternatifs. Sur une autre dimension, l'avance prise par les producteurs asiatiques constitue une clé de lecture essentielle pour la compréhension de la géographie de l'innovation et des stratégies menées pour consolider ou contester les positions concurrentielles acquises. Les acteurs publics ou issus de l'industrie font ainsi appel à des modalités organisationnelles originales, dont les consortiums de recherche précompétitive et autres plateformes technologiques, offrant un espace localisé de coordination négocié entre les différents partenaires ou concurrents pour faire progresser collectivement cette technologie « revêche » (Larrue 2002 ; 2004).

1.6. Un corollaire : la dynamique de coût des batteries Lithium-Ion.

L'existence déjà ancienne de la batterie Lithium-Ion, couplée l'effort continu de recherche dont elle a fait l'objet depuis la fin des années 1990, concrétisé par le dépôt de brevets liés au stockage de l'énergie en augmentation de 17% en moyenne annuelle entre 1999 et 2008 (BCG, 2010 ; MISTE, 2011), a occasionné deux types de dynamique. La première a trait à la relative maturité technologique de ces batteries, qui se traduit par des coûts de production revus à la baisse (**Tableau 6** : Maturation technologique des batteries Lithium-Ion sur longue période). La seconde, corrélative, est liée à la problématique du verrouillage technologique sur la batterie Lithium-Ion qui, au milieu des années 2000, au moment où s'initient nombres d'investissements dans le marché de l'électromobilité, accapare 70% du marché des accumulateurs portables, contre 15% pour les batteries Nickel-Cadmium et 10% aux batteries Nickel-Métal Hydrure (MINEFI, 2006).

Tableau 6 : Maturation technologique des batteries Lithium-Ion sur longue période :

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Wh/l	208	250	260	271	281	292	321	343	386	428	471	471	514	514
Wh/kg	90	108	113	114	119	123	135	143	159	172	189	189	202	202
US\$/Wh	2,63	2,09	1,75	1,71	1,24	0,95	0,59	0,51	0,42	0,35	0,35	0,33	0,31	0,28

Source : BRODD (2006)

En économie, ce processus de standardisation fait écho au concept de *dominant design* (Utterback et Abernathy, 1975), qui peut s'interpréter comme la dominance exercée par une physionomie technique parmi plusieurs sentiers de design en concurrence appartenant à une même « classe de designs » (Utterback et Suarez, 1993). La classe de designs correspond, elle-même, à une distribution d'artefacts appartenant à une même classe technologique, les accumulateurs Lithium-Ion ici, ayant un socle commun, tel que le partage du lithium pour composant de base. Dans ce cadre, « l'environnement compétitif d'une industrie, et par-là la survivance des firmes, est substantiellement affectée par l'évolution de la technologie sur laquelle il [le dominant design] est établi » (Suarez et Utterback, 1995, p.416). Cette influence, qui transite par la réduction de l'incertitude entourant le choix de la technologie à opérer, est duale. D'une part, les arbitrages entre les paramètres fondamentaux ont déjà été arrêtés, si bien que la recherche se polarise sur les verrous technologiques clés. Elle emprunte alors une « trajectoire technologique », au sens de Dosi (1982). D'autre part, l'adoption de la batterie Lithium-Ion accorde une plus grande visibilité sur les coûts, propriété avantageuse en situation d'incertitude, notamment sur la taille du marché de l'électromobilité. La dominance de la batterie Lithium-Ion est néanmoins à nuancer. Outre de rares exceptions, à l'image de la batterie Lithium-Métal-Polymère équipant les véhicules de la flotte Autolib' à Paris, la batterie Lithium-Ion fait aujourd'hui l'objet de deux déclinaisons d'électrolytes, solide et liquide, qui nécessitent la maîtrise de briques de connaissances spécifiques.

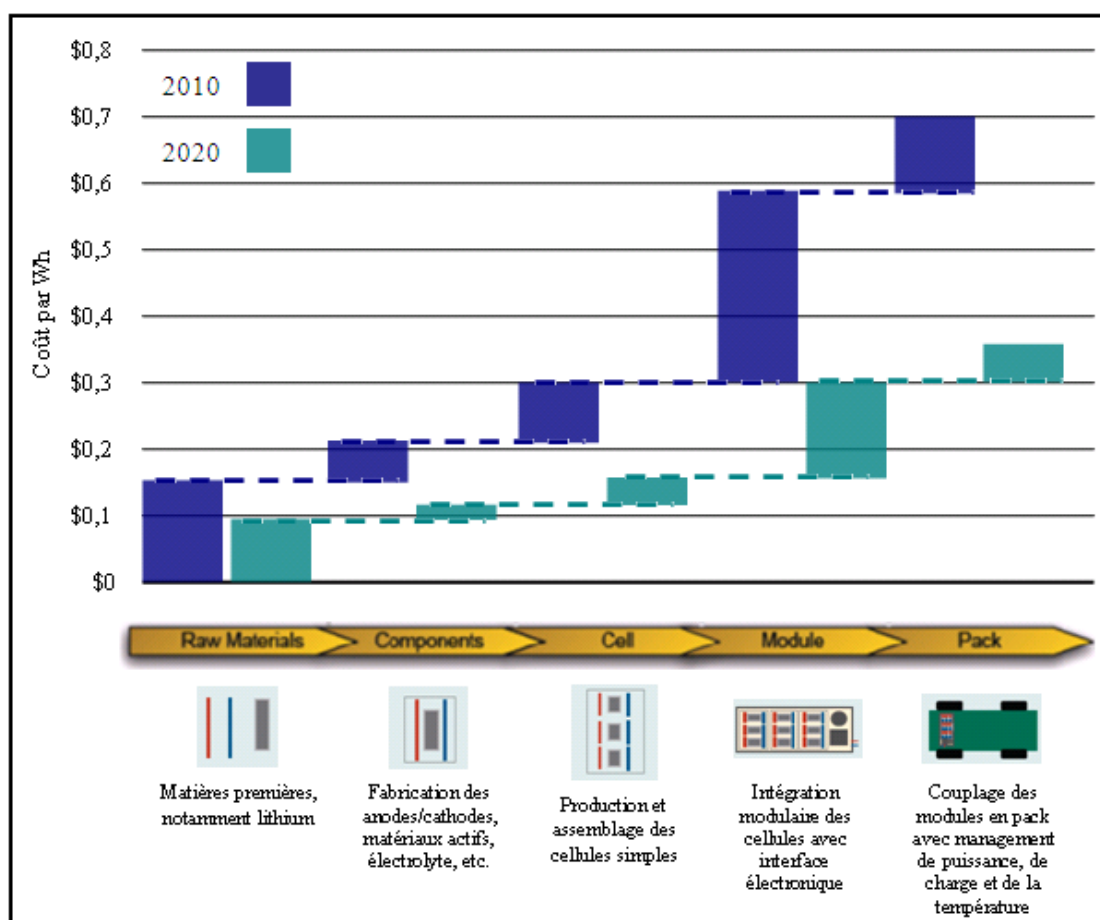
Bénéficiant de conditions favorables, la batterie Lithium-Ion fait montre d'un fort potentiel, en particulier en termes de réduction des coûts de production (**Tableau 7** : Projection du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh, 2008-2015). Précisons que ces réductions de coût de production, conditionnant en partie l'avenir de l'AE, se distinguent en fonction de leur placement le long de la chaîne de la valeur (**Figure 3** : Niveau et évolution du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh).

Tableau 7°: Projection du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh, 2008-2015 :

Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
US\$/Wh	2,63	2,09	1,75	1,71	1,24	0,95	0,59	0,51

Source : Pike Research (2010), p.6

Figure 3 : Niveau et évolution du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh :



Source : adapté de Anderson et Patiño-Echeverri (2009) et BCG (2010)

Afin d'aller plus avant vers la compréhension du régime technologique de l'AE, nous proposons maintenant d'étudier la motorisation électrique à l'aune d'une grille d'analyse analogue. Au moyen des concepts d'opportunité, d'appropriabilité et de cumulativité technologiques, nous verrons que la compréhension technico-économique de l'émergence et de la diffusion de l'AE n'est pas réductible à l'analyse de sa seule batterie d'accumulateurs. Si cette dernière réunit les principaux enjeux d'ordres économiques et techniques, le moteur électrique joue également un rôle prégnant dans l'émergence de l'AE. Il occasionne, en effet, un bouleversement des sources de la valeur pour les constructeurs automobiles et un déplacement des sources de coût de possession pour les consommateurs.

2. Le régime technologique de la motorisation électrique.

Symétriquement au chapitre précédent, l'analyse technico-économique du moteur électrique se fonde sur une approche en trois temps. Il s'agit, en premier lieu, d'appréhender son mode de fonctionnement, puis les propriétés de son couplage avec la batterie d'accumulateurs. Dans un second temps, nous mesurerons le degré d'appropriabilité technologique de la motorisation électrique, dont les propriétés renvoient à deux phénomènes essentiels de l'émergence et de la diffusion de l'AE. Du côté de l'offre, l'AE remet en cause les mécanismes traditionnels de génération de la valeur chez les constructeurs automobiles. Du côté de la demande, l'AE est le support d'un déplacement des coûts de détention automobile questionnant.

2.1. Principes de fonctionnement de la motorisation électrique.

Sous le capot d'une AE, le rôle de la conversion de l'énergie stockée par la batterie en mouvements de rotation des roues est conjointement assuré par le moteur électrique et par

l'électronique de puissance. Le mode de fonctionnement de base du moteur électrique repose sur l'existence d'un aimant capable de pivoter sur un axe et qui se trouve mis en rotation au centre d'un champ magnétique « tournant », équivalent à un aimant parcourant un cercle (Almeida, 1999). Précisément, un stator, pièce circulaire fixe, produit un champ magnétique au centre duquel le rotor est entraîné. Diverses technologies, aux rendements, puissances et dimensionnements distincts, peuvent créer les champs magnétiques du stator et du rotor (**Annexe 5** : Les technologies de motorisations électriques pour AE, p.569).

Tandis que les batteries d'accumulateurs sont sur la voie d'une standardisation sur la technologie Lithium-Ion, les choix technologiques des constructeurs automobiles sur les motorisations électriques sont plus distinctifs. Outre un caractère probablement hérité de la culture de différenciation sur la motorisation dans l'industrie automobile, ces choix différenciés s'expliquent par le fait que chacune des trois technologies identifiées se révèle plus adaptée à certains usages spécifiques. Choisi par le constructeur BMW notamment, le moteur asynchrone jouit d'une grande robustesse, présente un bon rendement et une plage d'utilisation étendue, dont les caractéristiques conviennent aux véhicules sportifs. Pourtant le plus coûteux¹³, en recourant à des métaux rares et en exigeant une électronique de pilotage complexe du flux magnétique entre rotor et stator à haut régime (Roland Berger, 2009), le moteur synchrone à aimant permanent est le plus diffusé. Le moteur synchrone à rotor bobiné, finalement, présente un rapport puissance-prix plus enviable en s'affranchissant de 90% des métaux rares nécessaires aux technologies concurrentes (Binois, 2011). En outre, il se montre capable d'effectuer une partie du travail de conversion du courant, habituellement dévolu aux bornes de recharge (Congreca et Leblanc, 2011), divisant par un facteur douze le temps de recharge de l'AE après un investissement dans un équipement mural de conversion simplifié.

¹³ L'importance de ces coûts est relative. Le coût d'un moteur électrique à aimants permanents de 50kW est de 1000 euros, contre 2200 à 3000 euros pour les moteurs essence et diesel produits en très grandes séries.

L'électronique de puissance, pour sa part, a trait aux dispositifs convertisseurs permettant de changer la forme de l'énergie. Son rôle est de produire de l'énergie électrique à partir d'une source énergétique préalable, qui prend la forme d'une énergie mécanique, thermique, chimique, ou radiative. Techniquement, le principe de conversion de l'énergie chimique de la batterie en énergie électrique repose sur l'existence de semi-conducteurs fonctionnant en commutation et alimentant le moteur électrique en électricité. Tout progrès sur l'électronique peut ainsi faire bouger les lignes et les technologies de moteur électrique.

L'association entre le moteur électrique et l'électronique de puissance se singularise par sa capacité ponctuelle à fonctionner sur le mode d'un générateur. Ce principe, démontré par Hippolyte Fontaine en 1873, permet au moteur électrique de prélever une partie de l'énergie cinétique produite lors d'un freinage. Cette énergie est, ensuite, convertie par l'électronique de puissance en vue de recharger la batterie d'accumulateurs d'une AE. Si une version primitive de cette technologie est déjà intégrée dans de nombreuses automobiles au tournant du 20^{ème} siècle (Wakefield, 1994 ; Westbrook, 2001), elle est actualisée par le *United States Advanced Battery Consortium* dans les années 1990 (National Research Council, 1998). Elle est désormais dénommée « freinage régénératif » et s'apparente à un mécanisme auto-générateur d'énergie électrique. Son apport est assez marginal sur l'autonomie d'une AE, en récupérant 20% à 25% de l'énergie de freinage, soit 2,2% à 5,8% de l'énergie dépensée par le véhicule suivant le type de trajet (OTA, 1995). Pour autant, ce type de principes techniques est voué à être optimisé, voire généralisé à d'autres sources d'énergie cinétique ; par exemple, des technologies convertissant l'énergie produite grâce aux suspensions sont développées par l'Université de Tufts et par le *Massachusetts Institute of Technology* aux Etats-Unis.

2.2. Efficience technique et efficacité énergétique globale de la chaîne électrique.

Le couple formé par le moteur électrique et l'électronique de puissance assume, en première approche, un simple rôle mécanique. Analysé plus finement, il apparaît pourtant comme un élément capital de compétitivité de la chaîne de traction électrique, mais également de l'avantage concurrentiel de l'AE en termes d'efficacité énergétique. La principale qualité du VE repose, en effet, sur un rendement énergétique deux à trois fois supérieur à celui d'un véhicule thermique. Ce dernier est, en effet, confronté à de multiples déperditions de chaleur lors de la phase de combustion du carburant ou occasionnées par les frottements internes du moteur (**Annexe 6** : Besoins énergétiques d'une voiture thermique en déplacement, p.569). En minimisant les étapes thermodynamiques, depuis la ressource naturelle énergétique – respectivement l'électricité ou le pétrole – et jusqu'à la mise en mouvement des roues, 80 à 97%¹⁴ de l'énergie électrique fournie par la batterie d'une AE est restituée aux roues, contre 25 à 45% pour un véhicule à moteur thermique équivalent (Dessus, 2008). En conduite urbaine heurtée, le rendement réel de ce dernier atteint même 10% (Bonnaure et Lamblin, 2005). En d'autres termes, 55% à 75% de l'énergie alimentant un moteur thermique, lors d'un plein d'essence, ne lui sert pas à se déplacer, mais s'avère purement et simplement perdue¹⁵.

Afin de mesurer l'efficacité énergétique globale d'une technologie de traction, on recourt à une approche du « puits à la roue », afin de prendre en compte la totalité de la chaîne de production et de consommation de l'énergie destinée aux déplacements. Chaque maillon de la chaîne fait preuve, en effet, d'une efficacité spécifique en termes d'impact environnemental,

¹⁴ Ce chiffre évolue en fonction du type de moteur électrique utilisé.

¹⁵ Ramené en termes de distance, cela signifie qu'avec 1 kWh d'électricité, soit 0,1 litre de carburant, une AE peut parcourir près de 7 kilomètres contre 1,5 à 2 kilomètres pour une automobile thermique (Cornaert, 2010).

elle-même caractérisée par une variabilité élevée suivant les modalités de production de la ressource énergétique et les modalités de consommation. Cette méthode vise à distinguer un premier versant « du puits au réservoir », d'un second, « du réservoir à la roue ».

L'analyse « du puits au réservoir » pour le cas de l'AE nous permet d'identifier deux chaînons principaux (Green Power, 2010). Il s'agit de la production d'électricité qui entraîne de fortes disparités en termes d'émissions polluantes (**Tableau 8** : Niveau indicatif de rejets en CO₂ des diverses sources d'approvisionnement énergétiques) et du diptyque transport-distribution d'électricité, pour lequel le taux de déperdition est faible et peu contrasté, de l'ordre de 8% (Kendall, 2008). Aussi, bien que le moteur électrique et l'électronique de puissance soient très efficaces « du réservoir à la roue », l'efficacité énergétique globale de l'électromobilité est particulièrement fluctuante, essentiellement en fonction du mix énergétique national, voire territorial. Un parallèle pour le cas du véhicule thermique montre que, si l'efficacité du « puits au réservoir » est particulièrement élevée (CE Delft, 2008), l'efficacité énergétique globale de la solution de mobilité thermique pâtit du faible rendement énergétique du moteur thermique et s'avère, dans bien des cas, inférieure à celle de l'AE (**Figure 4** : Emissions de CO₂ « du puits à la roue » : une comparaison entre les véhicules électrique et thermique).

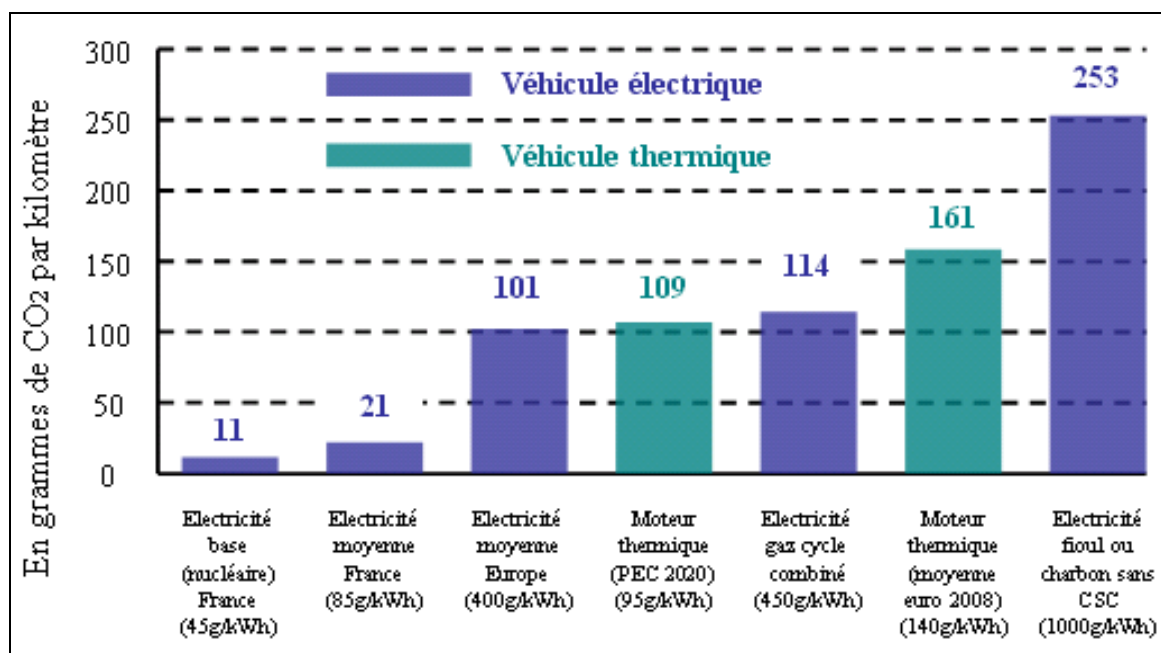
Tableau 8 : Niveau indicatif de rejets en CO₂ des sources d'approvisionnement énergétiques :

Mode de production	Hydraulique	Nucléaire	Eolien	Photovoltaïque	Gaz	Fuel	Charbon
Emissions par kWh	4	6	3 à 22	60 à 150	883	891	978

N.B. Les sources d'approvisionnement énergétiques ne rejettent pas uniquement du dioxyde de carbone (CO₂), mais également d'autres gaz à effet de serre, tels que le méthane (CH₄) ou le protoxyde d'azote (N₂O). En termes d'influence sur le réchauffement climatique, ils ne sont pas tous égaux. Si le méthane réchauffe 23 fois plus l'atmosphère que le CO₂, le protoxyde d'azote le réchauffe près de 300 fois plus.

Source : International Energy Agency (2009)

Figure 4 : Emissions de CO₂ « du puits à la roue » : une comparaison entre les véhicules électrique et thermique :



Source : ADEME (2009)

Nous nous gardons de conclure que l'adoption massive de l'AE constitue une source indéniable de « verdissement » ou de « décarbonisation » pour la société. D'une part, le raisonnement à un niveau individuel des émissions en CO₂ d'une AE se délite à un niveau agrégé. Sa diffusion en masse entraîne, ainsi, des effets induits illustrant parfaitement cette assertion. Parmi ceux-là, une dégradation de l'efficacité du système énergétique, à technologie constante, puisque l'adoption de l'AE est susceptible de provoquer des hausses ponctuelles de consommation d'électricité, auxquels seuls des moyens polluants peuvent répondre (Cf. **Chapitre 2**). D'autre part, une perspective dynamique est nécessaire pour apprécier le potentiel de chacune des filières technologiques, à savoir les tractions électrique et thermique, à réduire leur impact écologique global respectif. Le véhicule thermique devra se conformer à des normes d'émissions plus sévères en Europe, avec des gains escomptés entre 2008 et 2020 de l'ordre de 50%. En 2012, cette feuille de route est respectée. L'AE bénéficie, quant à lui, d'un volontarisme politique à l'origine d'investissements colossaux

dans les énergies renouvelables (EnR) intermittentes, estimés à 94.4 milliards de dollars pour l'Europe en 2010 (Pew Charitable Trusts, 2011)¹⁶.

Le découpage en deux phases des sources d'émissions polluantes d'une chaîne de traction est éclairant sur les singularités de l'AE en termes d'efficacité énergétique globale. Compétitif à l'égard du véhicule thermique du « réservoir à la roue », son caractère vertueux est complexe à apprécier sur le second versant, du « puits à la roue ». Cette difficulté est liée au caractère fluctuant des émissions de CO₂ en fonction du mix énergétique du territoire d'adoption de l'AE, c'est-à-dire de la nature énergétique des sources de production électrique. En Europe, l'efficacité énergétique de l'AE est supérieure à celle de son homologue thermique, constituant par-là une solution de substitution efficace en termes d'émissions de gaz à effets de serre et de microparticules responsables de graves pathologies (AFSSE, 2005 ; APHEKOM, 2011). Par-delà le raisonnement à périmètre et à technologie constants, nous avons vu que la diffusion de l'AE engendre, sous certaines conditions, une dégradation de son efficacité. Son effet système avec le déploiement des EnR intermittentes compense, toutefois, cette externalité.

Dans le but d'évaluer le degré d'appropriabilité technologique du moteur électrique, nous proposons de questionner désormais les implications de la diffusion de l'AE sur l'architecture de la chaîne de valeur des constructeurs automobiles. Dans ce cadre, nous serons amenés à apprécier les logiques stratégiques des constructeurs à l'aide d'une lecture traditionnelle en termes de coûts de transaction. Par la suite, dans un prolongement logique, nous étudierons en quoi l'émergence de l'AE est de nature à perturber les mécanismes de génération de la valeur actuels des constructeurs automobiles, compte tenu des caractéristiques du moteur électrique.

¹⁶ En 2008, la consommation d'électricité d'origine renouvelable en Europe s'est élevée à 10,2%. Les objectifs contraignants de la directive européenne 28/CE/2009 fixent une part de 21% d'énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie finale en 2020, dans l'Europe des 27 (Commission européenne, 2011.a).

2.3. Moteur électrique : mesure du degré d'appropriabilité technologique.

Corollaire de son principe de fonctionnement élémentaire, le moteur électrique compte, en tout et pour tout, une cinquantaine de pièces. *A contrario*, le très complexe moteur thermique rassemble plusieurs centaines de pièces précisément usinées. Sur l'exemple de la BYD E6, véhicule commercialisé en versions thermique et électrique, le seul moteur thermique à six cylindres se compose de 840 pièces, lorsque le moteur électrique se limite à 45 éléments (Shirouzou, 2009). Ajoutons qu'une AE ne réclame pas de transmission, ni de boîte de vitesses et qu'au surplus, il fait fi des filtres à air, à huile ou à diesel, des injecteurs et des bougies, mais également de l'échappement et de la courroie ou de la chaîne de distribution (Cornaert, 2010). Cette profonde remise en cause du paradigme technologique de l'automobile (Dosi, 1982) a de nombreuses implications.

Au surplus de la simplicité relative de conception et de production du couple formé par le moteur électrique et l'électronique de puissance, la proximité architecturale avec la chaîne de traction thermique du triplet moteur-convertisseur-batterie façonne les barrières à l'entrée sur le marché des moteurs électriques. Ce dernier est, en effet, fréquemment installé à l'avant de l'AE, pour des contraintes de refroidissement, tandis que la batterie, par son volume et son emplacement, s'apparente à un réservoir d'essence. De ce point de vue, la conception d'automobiles versatiles, reposant sur des châssis évolutifs ouverts à une « électrification » de la chaîne de traction, est grandement facilitée. Ajoutons que les moteurs électriques destinés à l'électromobilité proviennent d'une lignée industrielle, à l'instar des moteurs conçus pour les machines-outils (Cornaert, 2010). De fait, l'existence de compétences externes aisément mobilisables et redéployables offre l'opportunité aux constructeurs automobiles de nouer des partenariats avec des producteurs de moteurs électriques pénétrant ainsi la filière automobile.

La voie de l'internalisation est également ouverte par la faiblesse des barrières à l'entrée (**Tableau 9** : Accords officiels associant constructeurs automobiles et de moteurs électriques).

Tableau 9 : Accords officiels associant constructeurs automobiles et de moteurs électriques :

Constructeurs automobiles	Internalisation	Co-entreprise	Partenariat technique	Externalisation	Fabricants moteurs
BMW	←		Co-entreprise annoncée en Octobre 2011 et dénoncée par BMW en Juillet 2012		
PSA		2013			
Bolloré					
Daimler					Zytec
					Bosch
Ford					Magna
Hyundai-Kia	2013				
Mitsubishi					
Nissan					
Renault					Continental
	2013				
					Siemens
Tesla					
Toyota					Tesla
	2013				
Volvo					Siemens
Volkswagen	2013				

Source : représentation de l'auteur

Les enjeux qui poussent les industriels à nouer un accord de partenariat ou à internaliser la conception et la production d'un composant sont connus en économie. Ils font référence à la question de la frontière efficace des organisations, laquelle est abordée sous l'angle de la technologie ou bien celui des coûts, dans un contexte combinant incertitude et asymétrie d'information. Il revient à Coase (1937) d'avoir démontré que l'organisation efficace des échanges vise à minimiser les coûts d'information et de transaction. Dans ce cadre, un constructeur choisira de confier la conception et la production de ses moteurs électriques à un sous-traitant dans deux cas types. En premier lieu, lorsque la sous-traitance lui procure un avantage compétitif lié aux effets d'apprentissage, à l'atteinte d'une taille critique pour innover ou bien aux économies d'échelle. En second lieu, dans le cas où le constructeur est

confiant dans les relations contractuelles qu'il sera amené à développer avec le sous-traitant (Williamson, 1985), le prémunissant contre les risques d'exploitation monopolistique, de rupture de l'approvisionnement ou de dégradation de la qualité (Patry, 1994).

Le constat empirique semble rejoindre l'analyse théorique, dans le sens où les réflexions qui ont prévalu aux décisions divergent d'un constructeur à l'autre. Si les ambitions de Renault sur le marché de l'AE et sa stratégie visant à exploiter un moteur électrique à la technologie spécifique semblent premières dans son choix d'en internaliser la production (Leblanc, 2010), la stratégie suivie par les groupes Daimler et Bosch (EM-Motive) et les groupes BMW et PSA (BMW Peugeot Citroën Electrification), répond à une logique de volume et de taille critique pour innover. Les statuts de ces *joint-ventures* prévoient, en effet, de vendre des moteurs électriques à d'autres constructeurs (Verdevoye, 2011.a ; 2011.b). La position de Nissan reflète, quant à elle, une volonté de mieux contrôler l'évolution de la technologie et des coûts de l'ensemble des maillons de la chaîne de traction électrique (Bourbon, 2009).

Bien que l'émergence de l'AE remette assez largement en cause le paradigme technologique de l'automobile, la nature des transactions entre les constructeurs, leurs équipementiers et leurs fournisseurs concernant le moteur électrique ne semblent toutefois pas être bouleversée. D'une part, les constructeurs sont susceptibles de s'adresser – avec plus d'aisance que pour le cas des batteries d'accumulateurs – à des industriels qui en maîtrisent la conception et/ou la production. D'autre part, le degré d'appropriabilité technologique du moteur électrique est suffisamment faible pour que nombre de constructeurs soient en mesure d'en maîtriser la conception et la production, traditionnellement internalisées. Conformément aux stratégies ordinaires des constructeurs automobiles, le choix de la motorisation électrique constitue un critère distinctif de l'offre et n'impose aucune uniformisation.

2.4. Moteur électrique et mécanismes traditionnels de génération de valeur.

Nous proposons désormais d'évaluer l'ampleur de la modification de la chaîne de valeur externe des firmes induite par l'émergence de l'AE. Pour cela, nous abordons successivement la problématique de l'offre puis celle de la demande. Notre démarche vise à détailler la physionomie de la chaîne de la valeur externe traditionnelle des firmes automobiles et de comprendre sa dynamique, puis d'en interpréter les évolutions face à l'émergence de l'AE.

Dans un univers où 75% à 80% du coût de revient d'un véhicule est le fait des équipementiers et sous-traitants, les activités situées en amont ou à l'aval de la chaîne de la valeur constituent, pour les constructeurs, des postes de recettes essentiels. A ce titre que, l'octroi des crédits-clients par les captives financières et le marché de l'entretien et de la pièce de rechange contribuent largement à leurs résultats. Aussi, bien que ces derniers maîtrisent directement ou indirectement 60% de la « valeur du système automobile » (Bricnet et Delain, 2010), « les pièces détachées représentent 13% du chiffre d'affaires de Renault et une contribution à la rentabilité encore supérieure » en 2010 (Verdevoye, 2010). Une analyse sommaire des comptes de résultat consolidés des marques Renault et Volkswagen confirme la contribution des services hors vente d'automobiles (**Tableau 10** : Revenus des services hors ventes chez Renault et Volkswagen – 2004-2010) et du financement des ventes au chiffre d'affaires et à la marge opérationnelle de ces groupes (**Tableau 11** : Contribution par secteur à la marge opérationnelle du groupe Renault). L'inflation du prix des pièces de carrosserie neuves livrées par les constructeurs en France, entre 2006 et 2011, chiffrée à 26%, contre 7,63% pour l'inflation hors énergie éclaire ce constat sous un autre angle (Lefebvre et Alves, 2011).

Tableau 10 : Revenus des services hors ventes chez Renault et Volkswagen (2004-2010) :

(En proportion du CA)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Renault							
Produits sur vente de services	3,6%	3,3%	3,2%	5,1%	6,1%	5,7%	5,5%
Produits sur crédits à la clientèle	2,2%	2,2%	2,4%	2,6%	2,9%	2,6%	2,3%
Volkswagen							
Produits sur vente de pièces de rechange	19%			6,4%		7,4%	20,6%
Autres produits sur vente				7,5%		6,9%	
Services de location et de leasing				5,1%		6,3%	

Sources : Renault (2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011) ; Volkswagen (2010)

Tableau 11 : Contribution par secteur à la marge opérationnelle du groupe Renault :

(En millions d'euros)	2010	2009	Variation
Contribution du secteur Automobile	396	-902	+1298
En % du CA du secteur	1,1	-2,8	+3,9 pts
Contribution du financement des ventes	703	506	+197
Total	1.099	-396	+1495
En % du CA du groupe	2,8	-1,2	+4 pts

Source : Renault (2011)

Face au constat du poids des activités amont et aval, sur le CA des constructeurs automobiles, la diffusion en masse de l'AE est susceptible de fragiliser le modèle d'affaires de ces derniers. Sous les effets conjugués de la disparition de nombre d'éléments réclamant habituellement un entretien coûteux et de la fiabilité intrinsèque de la chaîne de traction électrique¹⁷, le besoin de maintenance de l'AE attendu est deux fois moindre que celui du véhicule thermique qu'il remplacera (Sia Conseil, 2010 ; Cetelem 2011, 2012). Pour autant, si l'émergence de l'AE remet en cause les mécanismes classiques de génération de la valeur chez les constructeurs, elle s'inscrit également dans une évolution sérieuse et convergente du contexte législatif.

¹⁷ Un moteur électrique est capable d'effectuer jusqu'à 1 million de kilomètres sans avarie (Cornaert, 2010).

Afin de corriger les entraves à la concurrence qu'elle avait relevées jusqu'ici sur le marché de l'après-vente automobile, la Commission européenne a profondément transformé le cadre réglementaire encadrant le secteur automobile en mai 2010 (Laguitton, 2010). Cette évolution législative visait à renforcer une concurrence émoussée par le respect très relatif de deux points du règlement précédent. L'un prévoyait que les automobilistes pouvaient réaliser l'entretien de leurs véhicules dans le réseau de leur choix sans perdre le bénéfice de la garantie. Depuis lors, il a été durci en s'étendant aux extensions de garantie. L'autre imposait aux constructeurs de garantir un libre accès aux données techniques de leurs véhicules à l'ensemble des réparateurs. Désormais, la fourniture de ces informations sur une plateforme unique est impérative pour valider la commercialisation des véhicules. En outre, de nouvelles dispositions contraignantes réaffirment l'interdiction pour les constructeurs d'empêcher les équipementiers et distributeurs de vendre des pièces aux réparateurs indépendants.

L'AE modifie, sinon bouleverse, les mécanismes classiques de génération de la valeur chez les constructeurs automobiles, dont les services situés en amont – pour les crédits clients – et en aval – pour les marchés de l'entretien et de la pièce de rechange – de la chaîne de valeur contribuent fortement à leurs résultats financiers. Ce constat grandement lié à la motorisation électrique de l'AE, conjuguant simplicité et fiabilité, là où le moteur à explosion impose entretien et réparations. Pour autant, il est important de replacer l'AE dans son contexte d'émergence au sens large. Ainsi, au niveau européen, un nouveau cadre législatif, intervenu en 2010 pour corriger les entraves à la concurrence relevées sur le marché de l'après-vente automobile, a incité les constructeurs à explorer de nouveaux horizons afin de restaurer leurs marges. En écho, si les caractéristiques techniques de l'AE bouleversent les mécanismes classiques de génération de la valeur chez les constructeurs automobiles, nous allons voir qu'ils altèrent également la logique traditionnelle des coûts de détention automobile.

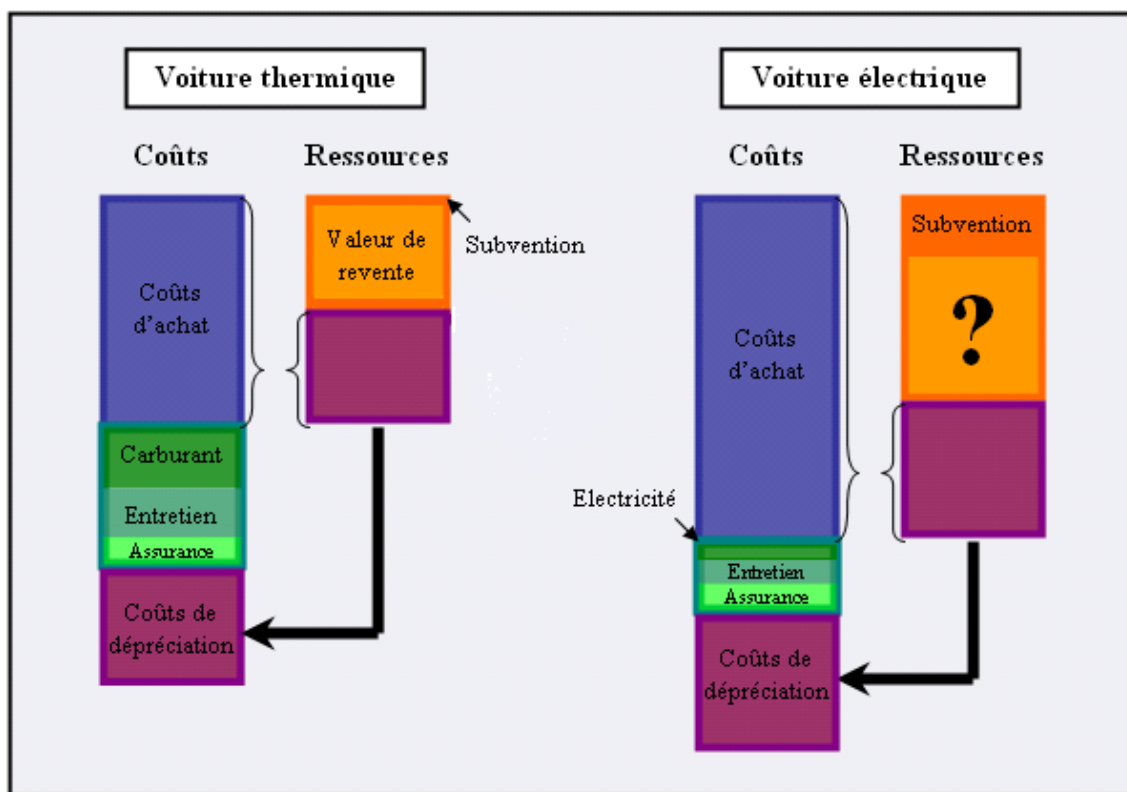
2.5. Un corollaire : vers un déplacement des coûts de détention automobile.

Dans le prolongement de la simplicité de conception du moteur électrique, au degré d'appropriabilité technologique limité, l'adoption de l'AE entraîne une profonde modification du paradigme traditionnel des coûts de détention automobile. Concrètement, le passage du véhicule thermique à l'AE occasionne un déplacement des coûts de détention, depuis le coût d'usage et vers le coût d'achat du véhicule. En effet, si les coûts – variables – d'usage et d'entretien de l'AE sont extrêmement compétitifs, son coût d'achat souffre d'une batterie onéreuse. Afin d'illustrer ce déplacement des sources de coûts, nous mobilisons le concept de « coût total de possession » (*Total Cost of Ownership*). Cet outil d'aide à la décision indique le coût global d'un bien et intègre les coûts d'usage directs – tel que l'achat – et indirects, comme l'entretien. Il s'adapte parfaitement aux bien-systèmes dont des produits ou services complémentaires dérivés sont vendus *a posteriori*, tels que les imprimantes ou les téléphones mobiles. Il est à noter que le TCO ne se confond pas avec le coût complet d'un bien ou d'un service, puisque ce dernier prend en compte les seuls frais qui sont du domaine des coûts de production. De manière analogue, il ne se superpose pas à un coût du cycle de vie (ou *life cycle cost* - LCC), qui comptabilise l'intégralité des coûts inhérents au cycle de vie d'un bien ou d'un service.

Si elle nous permet, sur une base homogène, de comparer la structure de coûts d'une AE à celle d'un véhicule thermique (**Figure 5** : Coût total de possession de voitures thermique et électrique en France en 2012), la méthode du coût total de détention n'est pas exempte de faiblesses. En particulier, cette méthode repose sur une comparaison statique ramenée à une distance en kilomètres, ainsi qu'à une durée de détention fixes. Elle se montre, par-là, peu généralisable. Sa validité est, en outre, intimement liée à un espace géographique. Pour la

problématique de l'AE, la fiscalité sur le carburant et les politiques d'octroi de subventions à l'achat d'AE se montrent, par exemple, loin d'être uniformes d'un territoire à l'autre.

Figure 5 : Coût total de possession de voitures thermique et électrique en France en 2012 :

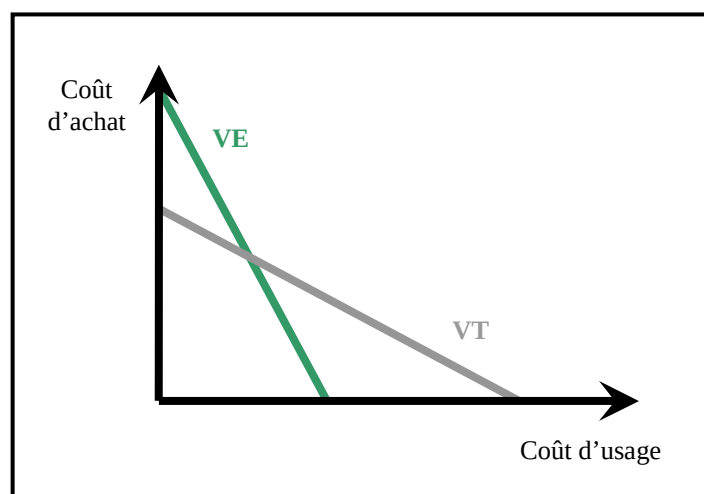


Source : représentation de l'auteur

Notre illustration se base notamment sur les dépenses en transports individuels des ménages français publiées par l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de l'INSEE, en ce qui concerne la période 2007-2008 (**Annexe 7** : Dépense de consommation des ménages en transports individuels en France en 2007, p.570). Cette base fait l'objet d'un retraitement, ne considérant pas les dépenses liées à une voiture neuve, mais à celles d'un véhicule « moyen » sillonnant les routes françaises, c'est-à-dire âgé de 8 ans (CCFA, 2011) et comptant 105.000 kilomètres (BIPE, 2009). Sans correction, le poids du prix de vente serait minoré et celui des coûts d'entretien serait majoré. Ces valeurs, approximatives et amorties sur 50.000 kilomètres, ont donc une vocation purement indicative. Elles sont précisées dans le cadre du **Chapitre 2**.

Le premier constat dérivant de cette analyse est que l'AE se montre plus onéreux qu'un véhicule thermique équivalent sur une distance ou une durée de détention courte. Cet état de fait est dû au coût prohibitif de ses batteries, insuffisamment compensé par un moteur électrique peu dispendieux à entretenir et par une charge d'électricité qui demeurera durablement meilleur marché que le carburant pétrole. Sur des distances en kilomètres ou une durée de détention plus longues, le surcoût de l'AE par rapport au véhicule thermique s'estompe et sa rentabilité se consolide (**Figure 6** : Comparaison des coûts associés aux véhicules thermique et électrique). Le second constat tirant partie de cette démarche analytique repose sur l'idée qu'au même titre que les mesures fiscales incitatives à l'achat de l'AE, sa valeur de revente influencera sévèrement son émergence et sa diffusion.

Figure 6 : Comparaison des coûts associés aux véhicules thermique et électrique :



Source : représentation de l'auteur

Un autre élément fondamental pour le devenir de l'AE est relatif à l'altération de la démarche traditionnelle d'achat automobile. Nous l'avons vu, seule une approche à l'aune du coût total de possession permet de justifier [financièrement] l'achat de l'AE, notamment dans la mesure où ses vertus écologiques ne transitent pas, ou imparfaitement, par le système des prix. Or, en ne mimant pas le comportement psychologique d'achat *lambda* des particuliers, l'AE peut dérouter une clientèle qui ne recourrait pas à une démarche d'optimisation des coûts sur la

durée de détention d'un véhicule. *A contrario*, il s'inscrit dans la logique des professionnels et particuliers adeptes des opérations de crédits-bails et des formules de location longue durée ou avec option d'achat, qui sont coutumiers des calculs d'optimisation, d'autant que ces formules à loyers fixes lissent les coûts d'achat et d'usage d'un véhicule sur toute la durée d'un contrat.

Conclusion du Chapitre 1.

Tout au long de ce **Chapitre 1**, nous avons mis en évidence les verrous d'ordres technique et économique auxquels sont soumises les technologies de batteries avancées actuelles aptes à l'électromobilité et la motorisation électrique. Une lecture en termes de « régime technologique » a montré que les batteries avancées détonent par un degré d'appropriabilité élevé et par de faibles degrés d'opportunité et de cumulativité technologiques, induisant une évolution tâtonnante et inertielle sur la courbe d'apprentissage. De manière fortement contrastée, nous avons mis en évidence le fait que la motorisation électrique se distingue par un degré de cumulativité technologique élevé et par un faible degré d'appropriabilité

Pour le cas des batteries, la confrontation de ces propriétés au contexte économique d'émergence desdits accumulateurs nous a permis d'affiner nos résultats préliminaires.

En premier lieu, la configuration oligopolistique du marché du carbonate de lithium, couplée à des facteurs géologique, technique et politique limitent l'accessibilité des ressources mondiales en lithium et en métaux rares et affecteront vraisemblablement la diffusion de l'AE. En second lieu, notre analyse de l'organisation de l'industrie des batteries avancées a souligné une double logique de *demand-pull* et de *technology-push*. Sur le versant de la demande, l'importance actuelle et potentielle du marché, ainsi que la multiplicité et la

complémentarité des usages des batteries avancées, maximisent les effets d'échelle, d'envergure et d'apprentissage, en offrant l'opportunité d'expérimenter des choix technologiques alternatifs. Sur le versant de l'offre, les recherches sur les batteries avancées s'inscrivent, à l'orée des années 2000, dans une trajectoire imprimée par l'essor des appareils électroniques nomades, laquelle induit une standardisation *de facto* (David et Greenstein, 1990) sur la technologie du Lithium-Ion. Bénéficiant d'une relative visibilité sur les coûts et d'arbitrages sur les paramètres fondamentaux d'ores et déjà arrêtés, cette technologie confirme, d'un certain point de vue, l'adage évolutionniste selon lequel « on ne choisit pas une technologie parce qu'elle est plus efficace, mais c'est parce qu'on la choisit qu'elle devient plus efficace » (Foray, 1989, p.16). A la confluence des intérêts publics et privés, de nombreux consortiums de recherche précompétitive et plateformes technologiques façonnent également les conditions d'opportunité et de cumulativité. Or, ces collaborations constituent des espaces de coordination entre différents partenaires et concurrents visant à faire progresser collectivement une technologie qui reste « revêche » (Larrue, 2004).

Considérant la simplicité, la fiabilité et l'efficacité de la motorisation électrique, plusieurs tendances se sont également dessinées.

D'une part, le degré de cumulativité technologique élevé et le faible degré d'appropriabilité du moteur électrique induisent que nombre d'industriels peuvent en maîtriser la conception et la production. Aussi, bien que le paradigme technologique de l'automobile est remis en cause, l'émergence de l'AE ne semble pas bouleverser la main mise des constructeurs sur cette motorisation, un critère traditionnellement distinctif pour l'offre dans l'industrie automobile. Dans le prolongement de son faible degré d'appropriabilité, c'est-à-dire sur l'autel de sa grande fiabilité et d'un entretien peu coûteux, le moteur électrique est néanmoins le support

de deux phénomènes marquants. Premièrement, il bouleverse les mécanismes de génération de valeur actuels chez les constructeurs automobiles. La modicité des coûts d'entretien est, en effet, incompatible avec la forte contribution aux résultats des activités aval des constructeurs automobiles. En cela, elle s'inscrit dans un contexte réglementaire européen désormais peu amène avec ce type de stratégies. Secondement, cette propriété altère la logique traditionnelle des coûts de détention automobile. En s'abreuvant d'une électricité bon marché au surplus d'être fiable, le moteur électrique entraîne une modification du paradigme traditionnel des coûts de possession, marquée par un déplacement du coût d'usage vers le coût d'achat du véhicule. Nous en tirons deux enseignements. Avant tout, l'achat d'une AE est une option rentable pour les automobilistes, institutions et industriels qui ont la stratégie d'en maximiser l'usage. Ensuite, en se plaçant dans un cadre purement rationnel, seule une approche en termes de coût total de possession (TCO), mise en œuvre par une frange de la demande, permet de justifier [financièrement] l'achat d'une AE.

D'autre part, l'efficience du couple formé par le moteur électrique et l'électronique de puissance est centrale dans la compétitivité énergétique globale de la chaîne de traction électrique. Nous avons vu que celle-ci devait être appréciée à l'aune du *mix* énergétique, c'est-à-dire selon la nature des sources énergétiques à l'origine de la production électrique, à l'échelle nationale ou locale. Dans une acception géographique, l'AE constitue ainsi une solution de substitution vertueuse au véhicule thermique seulement sur certains marchés.

Ce premier chapitre aura également mis en exergue plusieurs types de verrous à l'émergence et à la diffusion de l'AE. Précisons le parallèle que l'on peut dresser entre le cas des batteries d'accumulateurs et celui de la motorisation électrique.

En ce qui concerne les batteries d'accumulateurs, les verrous techniques font amplement écho aux défauts endémiques de ces technologies. Celles-ci sont technologiquement limitées par une capacité de stockage réduite, de même que par la durée importante de leur recharge. Ajoutée aux réticences liées à la sûreté des batteries (INERIS, 2011), l'anxiété face à la panne sèche, découlant d'une autonomie au diapason des capacités de stockage des batteries, constitue le principal obstacle d'ordre sociologique à l'émergence de l'AE. Finalement, les verrous économiques reposent sur la longévité des batteries avancées et plus encore sur leur coût, tous deux responsables de la fragilité de l'équation économique de l'AE. Les conditions de levée de ces limites technologiques semblent pouvoir être réunies à mesure que la recherche, favorisée par la structuration de l'industrie et par l'apport concret de la sphère publique, aboutira à des innovations incrémentales, via l'amélioration des batteries Lithium-Ion, et radicales, par l'émergence de nouveaux couples électrochimiques. Rappelons néanmoins que ces recherches s'opèrent dans un univers contraint où la résolution des problèmes est fondée sur l'art du compromis.

En ce qui concerne la motorisation électrique, l'analyse par le concept de régime technologique aura mis en lumière le fait que l'analyse de la motorisation n'est pas triviale, puisque plusieurs types de verrous à l'émergence et à la diffusion de l'AE s'appuient sur le couple qu'elle fonde avec l'électronique de puissance. Dans la mesure où la technologie des moteurs électriques brille par sa simplicité et qu'elle est maîtrisée de longue date, les verrous techniques s'avèrent mineurs. Au surplus de cette simplicité, la fiabilité et l'efficacité du moteur électrique structure l'efficacité énergétique globale de la chaîne électrique, qui se pose comme le principal argument de l'AE. Paradoxalement, ces propriétés en constituent également les principaux verrous économiques, voire sociologiques. Le croisement de la fiabilité du moteur électrique, de la modicité du coût de l'électricité et du coût important de la

batterie d'accumulateurs, induit un bouleversement des mécanismes de génération de valeur traditionnels chez les constructeurs automobiles, de même qu'une altération de la logique habituelle des coûts de détention automobile. S'il est délicat de mesurer l'impact de ce changement paradigmatique sur les comportements des consommateurs, cette incertitude forme un verrou sociologique à l'émergence de l'AE.

Dans la continuité du développement précédent, notre **Chapitre 2** aura pour objectif d'illustrer et de détailler le déplacement des sources de coûts entre l'AE et son homologue thermique. Son ambition sera de construire un modèle de référence sur la compréhension et l'appréhension de la structure de coûts et du coût total de possession de l'AE, à travers la recherche d'une prise en compte exhaustive des facteurs de coûts de détention de l'AE. Nous entendons donc obtenir une photographie fiable de la rentabilité de cette solution technologique, de manière à souligner certaines tendances susceptibles d'affiner notre appréciation des conditions technico-économiques d'émergence et de diffusion de l'AE.

Chapitre 2 : Coûts, prix et marchés de l'automobile électrique :

Calcul du coût total de possession des modes alternatifs de commercialisation de l'automobile électrique :

Sur la base de notre succincte analyse en termes de coût total de possession (TCO), nous avons illustré le déplacement des sources de coûts entre l'AE et son homologue thermique, dans notre **Chapitre 1**. Nous proposons désormais de détailler ce déplacement. En recourant à une analyse dynamique appuyée sur une analyse en termes de TCO, notre ambition est de construire un modèle de référence sur l'appréhension de la structure de coûts et du coût total de possession de l'AE. Dans ce cadre, les enjeux sont multiples. D'une part, il nous faut comparer les structures de coûts et les seuils de rentabilité entre l'AE et le véhicule diesel, mais également prendre en considération les divers modes de commercialisation de l'AE. Pour compléter notre analyse, nous envisagerons le cas où les batteries sont revendues et recyclées dans des utilisations alternatives. D'autre part, il s'agit d'évaluer l'importance des soutiens publics en faveur de l'AE, en termes de subvention à l'achat, mais également de simuler l'incidence d'une hausse tendancielle du prix des carburants et de l'électricité sur le seuil de rentabilité de l'AE par l'usage de scénarios.

Afin de rendre cet exercice de prospective moins périlleux et comparable, notre analyse s'attache à mesurer le coût total de détention d'une AE pour une utilisation s'étalant sur une durée de six à douze ans et dont l'achat intervient en France en 2012. A travers la recherche d'une prise en compte exhaustive des facteurs de coûts de l'AE, notamment le cycle de vie des batteries, nous entendons obtenir une photographie fiable de la rentabilité de cette solution technologique, de manière à souligner des tendances, à amender certaines analyses et à

avancer des préconisations favorisant son essor. Pour cela, dans le prolongement d'une phase définitionnelle et de calibrage des facteurs, nous envisagerons une série de deux scénarios singeant des contextes économiques potentiels à l'horizon de six années et appliquerons ces nouveaux paramètres aux facteurs de coûts identifiés. Par la suite, nous explorerons de multiples modalités de valorisation de l'AE et de sa batterie illustrant, par-là même, le nouveau paradigme dans lequel l'AE s'inscrit. Ces modalités constitueront autant d'éléments qui permettront de parfaire notre appréhension du coût total de possession de l'AE.

1. Définition et calibrage des facteurs.

En vue d'assurer la pertinence et la transparence de notre analyse, ainsi que pour obtenir une base de comparaison adéquate entre l'AE et le véhicule thermique, nous débutons ce travail prospectif par la calibration des facteurs et critères susceptibles de nous permettre d'évaluer les coûts de détention respectifs. Dans le cadre de cet exercice, notre démarche est de rechercher le consensus. D'une part, cela consiste à multiplier les sources de données et d'informations crédibles et argumentées. D'autre part, cela conduit à arrêter nos choix sur des données chiffrées « moyennes » parmi les études menées, tout en adoptant une lecture systématiquement critique de celles-ci. Précisons, à nouveau, que notre analyse se montre spatialement et temporellement située, puisque nous nous concentrons sur le cas de la France pour l'année 2012.

Afin de mener à bien notre analyse, le processus de sélection du véhicule, qui constitue notre base de travail et de référence, est fondamental car il est le garant de notre impartialité et de l'exactitude de nos propos. Nous avons jeté notre dévolu sur la Renault Fluence, dont le choix repose sur le fait qu'elle est l'un des seuls modèles de la production automobile mondiale

actuelle à être décliné et commercialisé sous la forme d'une AE, la Renault Fluence Z.E., et sous la forme d'un véhicule thermique, la Renault Fluence dCi (**Annexe 8** : Renault Fluence dCi et Z.E., p.570). Elle a, en outre, la particularité d'être un véhicule sur lequel s'appuie l'offre de deux types d'opérateurs de mobilité, Renault et *Better Place*, sur les marchés où il est implanté. Malgré un écart substantiel de pouvoir d'achat¹⁸, nous baserons notre analyse sur les offres commerciales de *Better Place* en Israël, pour une question d'accès aux données.

1.1. Sélection des versions et des prix de vente avant retraitements.

Pour alimenter une comparaison fiable entre les versions de Renault Fluence, notre choix d'AE s'est porté sur la Renault Fluence Z.E. en finition « Dynamique » et sur la Fluence dCi 110 EDC eco² en finition « Black Edition », pour la version thermique. Ces modèles sont les plus proches de la gamme, à la fois en termes de prestations routières (performances, sécurité) et de confort de conduite (boîte automatique, équipement de confort, système GPS évolué). Précisons, en effet, qu'une AE pallie son déficit de puissance (70kW contre 81kW ici) par un couple moteur maximal disponible dès les premiers tours de roues, favorisant les relances. Au-delà, l'AE s'affranchit d'une boîte de vitesse et fonctionne à la manière d'un véhicule thermique doté d'une boîte automatique. Finalement, dans cette finition « Dynamique », commune à celle de *Better Place* en Israël, ces deux véhicules disposent d'un niveau de dotation en équipement similaire, à un ajustement près. Il convient ainsi d'adjoindre un équipement optionnel à la version thermique, à savoir la cartographie pour l'Europe de son système GPS, facturé 120 euros au catalogue Renault 2012.

¹⁸ Le Produit Intérieur Brut annuel par habitant en parité de pouvoir d'achat en 2010 de ces deux pays diffère de 18,5% (33.820\$ contre 28.546\$) en faveur de la France (Banque Mondiale, 2012). En dépit d'une telle différence, il ne nous semble pas utile de convertir les données pour le cas français car *Better Place* déploie son système à des tarifs similaires en Israël et au Danemark, dont l'écart de richesse est également important.

Ainsi équipée, une Renault Fluence dCi 110 EDC eco² « Black Edition », au prix catalogue initial de 24.700 euros TTC, est disponible en échange de 24.820 euros TTC en France au 31/12/2012. Emettant 114g/km de CO₂, ce modèle n'est pas soumis à un malus écologique, ni ne bénéficie d'un bonus écologique, communément appelé « Eco Pastille ». A contrario, les AE bénéficient de subventions à l'achat qui invitent à opérer des retouches sur les prix de base « constructeur ». Notons que la France et Israël recourent à deux mécanismes fiscaux distincts quant aux subventions à l'achat des AE. En France, celui-ci est forfaitaire, à hauteur de 7.000 euros par véhicule neuf depuis le 25 Juillet 2012. En Israël, la législation consent à abaisser à 30% la fiscalité pour l'achat de véhicules propres, tandis que traditionnellement, les automobiles y sont taxées à hauteur de 72%. Ce principe dégrève près de 30% la valeur neuve d'un véhicule vendu par l'opérateur de mobilité *Better Place*, soit un niveau proche de la subvention française à laquelle nous le soumettons. Compte tenu de ces subventions et des modalités d'acquisition particulières (PA_{dfc}), à savoir l'achat du véhicule et la location de la batterie, une Renault Fluence Z.E. en finition « Dynamique » est vendue 19.900 euros par Renault (soit 26.900 euros hors Bonus) et 24.640 euros par *Better Place*¹⁹.

Depuis l'achat du véhicule et la location de sa batterie, à l'achat intégral du couple formé par le véhicule et sa batterie, en passant par la location intégrale, les modalités d'achat d'une AE sont multiples (**Tableau 12** : Modalités d'achat d'une AE : un panorama). Bien qu'utiles à l'analyse, ces deux derniers modes d'acquisition ne sont pas proposés en France par Renault sur sa Fluence Z.E., S'il est difficile d'envisager le coût d'un abonnement intégral, compte tenu de la dimension stratégique d'une telle politique de vente, nous sommes en mesure de contourner cette difficulté pour le cas de la vente intégrale. Pour cela, nous ajoutons le coût estimé d'une batterie d'accumulateurs au prix de vente d'une Renault Fluence Z.E. hors

¹⁹ Son prix hors subvention est de 157.800 shekels (Israël), c'est-à-dire 31.640 euros, à un taux de conversion de 1 shekel = 0,200475037 euro (au 06/11/2012). Adapté au cas français, un tel véhicule serait vendu 24.640 euros.

batterie. Parce qu'il est peu concevable qu'un constructeur vende cette batterie à prix coûtant, nous ajoutons arbitrairement une marge de 5% au coût estimé de la batterie.

Tableau 12 : Modalités d'achat d'une AE : un panorama :

		Véhicule	
		Achat	Location
Batteries	Achat	Nissan ; PSA	
	Location	Renault ; Better Place	PSA ; Bolloré

Un nombre conséquent de cabinets de consultants a cherché à évaluer le coût de stockage de l'énergie par une batterie d'accumulateurs au Lithium-Ion produite sur le mode de la série. Pour l'année 2012, le cabinet Roland Berger (2009) évoque un coût de 630 euros du kilowattheure (kWh)²⁰, tandis que les estimations du BCG évaluent ces coûts à 605 euros/kWh. Enfin, l'Electrification Coalition, un groupe de lobbyistes auquel appartient le groupe Renault-Nissan, relève un coût équivalent à 425 euros/kWh. Nous basons nos calculs sur un coût de 580 euros du kilowattheure. Avec une capacité de stockage de 22 kWh, le coût des batteries d'accumulateurs de la Renault Fluence ressort ainsi à 12.760 euros, soit 13.400 euros, marge comprise. En procédant ainsi, une Renault Fluence Z.E. vendue avec sa batterie coûterait 40.300 euros, soit 33.300 euros, subventions comprises (PA_{dfc}).

1.2. Calcul des coûts de revient kilométriques.

Dans le calcul des coûts de revient des véhicules analysés, on rapporte le coût de détention à une unité kilométrique. Ce procédé a vocation à faciliter les calculs et à permettre de prendre en compte les multiples modalités commerciales d'achat d'AE, particulièrement celles

²⁰ L'ensemble de nos conversions dollars/euros ont été calculées à partir d'un cours moyen durant l'année 2011 de 1€ = 1,28\$, représentant à 6-7% près la conversion moyenne historique entre 1999 et 2012.

proposées par les opérateurs de mobilité électrique. Ce type de calcul fait intervenir nombre de composantes, dont il est important de saisir la nature et la structure des coûts respectifs. Afin de faciliter la lecture et de comptabiliser l'ensemble des facteurs significatifs pour le coût de revient des automobiles électriques et thermiques, ainsi que pour établir une base de comparaison pertinente des offres commerciales, nous procédons à un découpage laissant apparaître un coût kilométrique hors énergie et hors entretien, puis un coût kilométrique à l'usage focalisé sur le cas de l'énergie et, finalement, focalisé sur le cas de l'entretien.

1.2.1. Coûts kilométriques hors énergie et hors entretien.

Le coût kilométrique du véhicule à l'usage hors énergie et hors entretien correspond aux coûts liés à l'achat de l'AE et aux forfaits d'abonnement aux services de mobilité des opérateurs. En effet, tandis que dans le cas du véhicule thermique, le coût kilométrique à l'usage – hors énergie et hors entretien – n'induit que la prise en compte du coût d'achat, pour les AE, l'avènement des opérateurs de mobilité électrique occasionne un changement complet de paradigme. En avançant le principe de la vente d'une « fonction de mobilité », consistant à vendre le véhicule et à offrir une prestation forfaitaire de mobilité, s'ajoutent – aux coûts d'achat de l'AE – des abonnements mensuels spécifiques à chaque opérateur de mobilité électrique. Suivant leur forme, ces abonnements comprennent le coût de location de la batterie (FIB) et/ou un coût d'accès à un réseau d'infrastructures de recharge (FaI).

Afin de rapporter ces coûts au kilométrage accompli par l'utilisateur (D_{km}), nous prenons en considération trois distances. D'abord, une distance courte de 30.000 kilomètres, sur laquelle l'ensemble des opérateurs de mobilité propose une offre commerciale, ce qui favorise la comparaison. Ensuite, une distance moyenne de 105.000 kilomètres, qui correspond à la

distance « moyenne » effectuée par un véhicule en France. Ce chiffre relève d'un croisement entre l'âge moyen des véhicules – qui est de 8,2 années en France en 2010 (CCFA, 2011) – et le kilométrage annuel moyen d'un véhicule en France, de 12.500 kilomètres en 2009 (BIPE, 2009). Finalement, nous considérons une distance longue de 150.000 kilomètres, dont le choix est notamment dicté par la capacité potentielle de la batterie d'une AE. Il tient compte de l'autonomie initiale de 185 kilomètres, de la déperdition totale de la capacité de stockage des batteries, de leur longévité en termes de cycles de charge/décharge, ainsi que du coût estimé de leur revente à l'issue de leur usage automobile.

Si les offres commerciales proposées par les opérateurs de mobilité n'envisagent pas toutes précisément ces distances, nous prenons le parti de basculer sur la formule la plus appropriée en fonction des distances à effectuer, de manière à minimiser le coût pour l'utilisateur. Afin de combler les éventuels kilomètres « manquants », nous soumettons ces offres à un surcoût kilométrique correspondant aux offres commerciales respectives des opérateurs (S_{km}).

$$Ck_{hee} = (PA_{dfc} + FIB + FaI) / D_{km} + D_{km} * S_{km} \quad (1)$$

Un tableau récapitulatif des abréviations et de leur signification est disponible en **Annexe 9** (p.571).

Dans le cas de Renault, au-delà de l'achat de la voiture, la batterie d'accumulateurs est louée, suivant une grille tarifaire précisant la période d'engagement et le kilométrage annuel prévu (**Tableau 13** : Grille tarifaire pour la location de batterie (Renault Fluence Z.E. – Prix TTC)). Précisons que ces tarifs intègrent, pendant toute la durée du contrat de location des batteries, l'assistance de la marque valable pour tous les types de pannes, y compris d'énergie. En outre, le dépassement du kilométrage souscrit, donne lieu à un surcoût forfaitaire de 0,05 euros par kilomètre supplémentaire.

Tableau 13 : Grille tarifaire pour la location de batterie (Renault Fluence Z.E. – Prix TTC) :

Durée du contrat	Kilométrage annuel souscrit			
	10.000 km	15.000 km	20.000 km	25.000 km
12 mois	102 €/mois	116 €/mois	132 €/mois	148 €/mois
18 mois	97 €/mois	111 €/mois	127 €/mois	143 €/mois
24 mois	92 €/mois	106 €/mois	122 €/mois	138 €/mois
30 mois	87 €/mois	101 €/mois	117 €/mois	133 €/mois
36 mois	82 €/mois	96 €/mois	112 €/mois	128 €/mois
48 mois				
60 mois				
72 mois				

Source : Renault

Dans le cas de *Better Place*, les modalités de détention du véhicule sont semblables, mais la location prend la forme d'un package comprenant la location de la batterie, l'accès à l'infrastructure de recharge, ainsi que l'installation d'une borne de recharge à domicile. Cet abonnement est tarifé l'équivalent de 220 euros TTC (1090 shekels) par mois sur trois ans, si le propriétaire opte pour une formule de 20.000 kilomètres annuels. Dans les mêmes conditions, un abonnement pour 30.000 kilomètres annuels sur trois ans se négociera 325€ TTC/mois. Tout dépassement de distance souscrite donne lieu au paiement d'une indemnité kilométrique de 0,20 euro. Finalement, *Better Place* propose un pack complet, comprenant l'achat du véhicule et un forfait batteries s'étalant sur trois ans, à raison de 25.000 kilomètres par an, pour 157.500 shekels (31.575 €), déduction fiscale comprise.

1.2.2. Coûts kilométriques à l'usage : le cas de l'énergie.

Pour appréhender le coût kilométrique à l'usage en énergie, nous avons basé nos calculs sur des coûts de l'énergie électrique (Ck_e) et du pétrole (Ck_g) définis au regard de plusieurs facteurs contemporains. S'il est entendu que ces ressources énergétiques suivent des

trajectoires de coûts spécifiques sur la période considérée dans l'analyse²¹, nous simulerons plus en avant des hausses de coûts via l'usage de scénarios afin de constater et d'interpréter la portée respectives de ses évolutions sur le seuil de rentabilité de l'AE. Dans la première partie de l'analyse, nous estimons que les coûts de l'électricité et de l'essence sont stables.

Dans le cas de l'AE, le calcul du coût kilométrique de l'électricité est lié aux caractéristiques techniques de la batterie d'accumulateurs de la Renault Fluence Z.E. Tirant partie des 185 kilomètres d'autonomie (A_{VE}) de sa batterie de 22kW (CsB), nous pouvons estimer que celle-ci consomme 0,12 kWh par kilomètre en cycle d'usage normalisé européen²². Au coût moyen de 0,142 euro TTC du kilowattheure (CM_e) pour les particuliers sur le territoire français (Eurostat, 2013)²³, un kilomètre électrique parcouru en Renault Fluence Z.E. revient alors 0,017 euros en électricité. Ce coût s'impose aux particuliers et professionnels qui ne font pas appel à un opérateur de mobilité électrique du type *Better Place*, car dans le cas contraire, un abonnement forfaitaire leur permet d'accéder à un réseau d'infrastructure de recharge, si bien que le coût de l'électricité est compris dans l'abonnement de l'opérateur de mobilité.

Dans la mesure où nous ne connaissons pas précisément les modes d'usage de l'AE, ni les comportements de recharge, en particulier la distribution des lieux de recharge, nous admettons deux situations contrastées. D'une part, le détenteur d'une AE sans opérateur de mobilité électrique ou bien titulaire d'un abonnement de location de batterie auprès de Renault effectue 80% des recharges de son AE à domicile, qu'il paye à hauteur de 0,017 euro

²¹ Par exemple, la croissance économique des BRICS occasionne une hausse drastique des ventes automobiles ou encore du fioul domestique à l'échelle mondiale et, toutes choses égales par ailleurs, une hausse des cours du pétrole. Pour l'électricité, la diffusion des énergies renouvelables intermittentes, voire l'abandon progressif de l'électricité d'origine nucléaire dans certains pays, suggèrent une hausse moyenne du coût du kilowattheure.

²² Le *New European Driving Cycle* est un cycle de conduite imitant les conditions réelles de conduite. Son principe repose sur un scénario comprenant accélérations, décélérations et paliers de vitesse sur une durée de 20 minutes. La vitesse maximale atteinte durant le test est de 120km/h ; la vitesse moyenne y est que de 33km/h.

²³ Coût moyen de l'électricité domestique en France, tous fournisseurs et périodes (creuses/de pointe) confondus, pour l'année 2011. Cette année a dénoté par le taux historiquement faible d'utilisation des centrales nucléaires du parc français et par un hiver plus rigoureux qu'à l'accoutumée, occasionnant une hausse relative du kWh.

TTC du kilomètre (RP). Le reliquat, qui correspond aux recharges chez l'employeur ou sur d'autres spots gratuits²⁴, ne lui est pas facturé. Nous évaluons ainsi le coût kilométrique en électricité d'une Renault Fluence Z.E. à 0,0136 euro TTC du kilomètre dans ces conditions. D'autre part, le titulaire d'un abonnement *Better Place* effectue 20% des recharges de son AE à domicile, soit un coût kilométrique en électricité de 0,0034 euro TTC, qu'il paye au-delà de son abonnement forfaitaire lui ouvrant l'accès à une infrastructure de recharge dense.

$$Ck_e = RP * [(A_{VE} * C_{sB}) * CM_e] \quad (2)$$

En ce qui concerne la Renault Fluence dCi 110 EDC eco², le coût kilométrique en gasoil est obtenu en multipliant la consommation mixte normalisée²⁵ du modèle (CoM_{vd}), soit 4,4 litres aux cent kilomètres, par le prix moyen du gazole en France (CM_g). Afin de limiter les effets de saisonnalité et ainsi lisser les variations du prix du pétrole, nous privilégions une période couvrant le dernier semestre 2011 et le premier semestre 2012, au cours de laquelle le coût moyen du gasoil ressort à 1,375 euro par litre (MDd, 2012). Ainsi chiffré, le coût kilométrique en gasoil de la Renault Fluence dCi 110 ressort à 0,0605 euros TTC, soit un niveau voisin des données publiées par l'Automobile Club Association en Juin 2012 (ACA, 2012.a).

$$Ck_g = (CoM_{vd}) * CM_g \quad (3)$$

1.2.3. Coûts kilométriques à l'usage : le cas de l'entretien.

Le terme de coût d'entretien fait indifféremment référence aux frais de révision et d'entretien courants résultant de l'usure normale du véhicule – tels que les pneumatiques et le pot

²⁴ De nombreux hypermarchés du groupe Leclerc et les centres commerciaux Unibail-Rodamco mettent gratuitement des bornes de recharge à disposition de leurs clients en France. On compte également des bornes publiques gratuites dans certains centres-villes, notamment à Paris, où elles se comptent par centaines.

²⁵ Le cycle de consommation mixte fait référence à un cycle de conduite comprenant un tiers de la distance en conditions urbaines et deux tiers de la distance sur un parcours extra-urbain (70 à 120 kilomètres par heure).

d'échappement – et aux frais de réparation des pièces mécaniques, électroniques et électriques défectueuses du véhicule, tout au long de son existence. Dans le cas d'un véhicule thermique, ces frais sont de l'ordre de 1.418 euros annuels pour une Peugeot 308 HDI Confort Pack FAP effectuant 15.448 kilomètres dans l'année en 2011 (ACA, 2012.a)²⁶. Ramené à une unité kilométrique (CEk_{VT}), le coût d'entretien de ce véhicule doté d'un moteur d'une puissance de 68kWh – soit 90 chevaux Din – et affiché à un prix catalogue de 20.450 euros TTC est alors de 0,092€. Ces chiffres requièrent des ajustements afin d'estimer les coûts d'entretien d'une Renault Fluence dCi, qui se distingue d'une Peugeot 308 sur nombre de points.

Premièrement, ces deux véhicules n'appartiennent pas à la même catégorie et ne disposent pas de motorisations de puissance analogue. Sur ces deux critères, la Peugeot 308 servant de base de calcul se situe à un niveau inférieur. Dans la mesure où, toutes choses égales par ailleurs, plus un véhicule est volumineux et performant, plus il « consomme » de pièces d'usure pour un kilométrage donné, nous appliquons un coefficient de majoration de 10% au coût d'entretien de cette dernière. Par ailleurs, nous admettons une fiabilité similaire pour chacun de ces modèles qui, par ailleurs, jouissent de périodes de garantie et d'une périodicité de révision similaires²⁷. Pour tenir compte de l'accroissement des frais d'entretien à mesure de la hausse des distances parcourues, nous appliquons un coefficient de majoration de 15% tous les 30.000 kilomètres au-delà des 30.000 kilomètres initiaux. Ce principe respecte les préconisations des constructeurs qui soumettent leurs véhicules à des révisions graduellement plus onéreuses. Dans une certaine mesure, ce chiffre reflète également l'inflation annuelle des coûts de la main d'œuvre en atelier, de même que l'inflation du prix des pièces de rechange.

²⁶ Cette analyse corrobore les ordres de grandeur de l'enquête INSEE (2011) sur le budget des ménages.

²⁷ La période de garantie est de deux années en kilométrage illimité, tandis que la périodicité de révision est de 30.000 kilomètres ou 2 années.

Secondement, les retours d'expériences et les simulations orchestrées montrent que les coûts d'un entretien régulier de l'AE sont 30% à 50% inférieurs à ceux des modèles thermiques équivalents. Par exemple, le moteur électrique freine mécaniquement l'AE en récupérant une partie de l'énergie cinétique, si bien que les étriers et plaquettes de frein sont moins sollicités et bénéficient d'une espérance de vie rallongée. En outre, les AE sont équipés de moteurs sans balais, ce qui les affranchit de tout entretien, au même titre que leur batterie d'accumulateurs. En guise d'illustration, le cabinet de conseil TCG Conseil (2011) estime que sur un total de 16 années, une AE passera 61% moins de temps en atelier qu'un véhicule thermique classique. A l'image de l'opérateur *Better Place*, nous estimons ainsi l'écart relatif de coût d'entretien à 40% (C_{min}), soit un coût kilométrique de 0,0607 euros. Nous y appliquons un coefficient de majoration ($C_{max}^{D_{km}}$), contenu à 5% tous les 30.000 kilomètres au-delà des 30.000 kilomètres initiaux, afin de relater la moindre prise de l'évolution des coûts de la main d'œuvre d'atelier et de l'inflation des prix des pièces de rechange sur une AE, par rapport aux véhicules thermiques.

Parmi les AE analysées, celles qui bénéficient d'un abonnement *Better Place* se singularisent par une assistance technique améliorée (Cat), ce qui signifie que les frais d'entretien hors pièces d'usure sont pris en charge. De plus, la garantie est portée de deux à quatre ans pour tous les frais de réparation des pièces mécaniques, électroniques et électriques défectueuses. Aussi, nous postulons que les coûts d'entretien associés aux offres d'abonnement de *Better Place* représentent seulement 75% de ceux des autres AE, soit 0,0455 euro du kilomètre.

$$CE = Cat * [(C_{min} * CE_{k_{VT}}) * (C_{max}^{D_{km}})] \quad (4)$$

2. Représentations des modèles d'affaires alternatifs et commentaires.

2.1. Représentations des coûts de revient alternatifs.

Afin de donner un aperçu global du coût de revient et du seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule thermique sur l'ensemble de son cycle de vie, nous avons choisi de structurer notre analyse autour de trois distances, respectivement de 30.000, 105.000 et 150.000 kilomètres, qui sont autant d'étapes significatives de la vie d'une AE (**Tableau 14** : Coût kilométrique total amorti sur 30.000 kilomètres ; **Tableau 15** : Coût kilométrique total amorti sur 105.000 kilomètres ; **Tableau 16** : Coût kilométrique total amorti sur 150.000 kilomètres). Pour le calcul du coût kilométrique, rappelons que nous avons optimisé le choix des forfaits disponibles pour l'utilisateur, en glissant parfois d'une formule d'abonnement à une autre, tout en tenant compte des engagements contractuels en termes de périodes et de kilométrages parcourus. Afin de faciliter la lecture et la compréhension des tableaux suivants, nous faisons apparaître les équations chiffrées en annexes (**Annexes 10**, p.572 ; **11**, p.573 ; **12**, p.573).

$$\begin{aligned} \text{CkR}_{D_{km}}(\text{VE}) &= (1) + (2) + (4) = \text{Ck}_{\text{hee}} + \text{Ck}_e + \text{CE} = [(\text{PA}_{\text{dfc}} + \text{FlB} + \text{FaI}) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] \\ &+ \text{RP} * [(\text{A}_{\text{VE}} * \text{CsB}) * \text{CM}_e] + \text{Cat} * [(C_{\text{min}} * \text{CEk}_{\text{VT}}) * (C_{\text{max}}^{D_{km}})] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{CkR}_{D_{km}}(\text{VD}) &= (1) + (3) + (4) = \text{Ck}_{\text{hee}} + \text{Ck}_g + \text{CE} = [(\text{PA}_{\text{dfc}} + \text{FlB} + \text{FaI}) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] \\ &+ (\text{CoM}_{\text{vd}}) * \text{CM}_g + \text{Cat} * [(C_{\text{min}} * \text{CEk}_{\text{VT}}) * (C_{\text{max}}^{D_{km}})] \end{aligned} \quad (6)$$

Tableau 14 : Coût de revient kilométrique amorti sur 30.000 kilomètres :

Taux de conversion au 06/11/2012 : 1 Shekel = 0,20047€	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	VE Better Place	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VE _{BP}	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	31.640 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.640 €	24.820 €
Forfait location batterie	FLB		106€/mois		
Forfait d'accès infra.	FaI			325€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	111cts/km	74,81cts/km	95,13cts/km	82,73cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,36cts/km		0,34cts/km	
Coût kilométrique gasoil	Ck _g				6,05cts/km
Coût d'entretien	CE	6,07cts/km		4,55cts/km	10,12cts/km
Coût de revient amorti sur 30.000km	CkR _{30K}	118,43cts/km	82,24cts/km	100,02cts/km	98,90cts/km

Tableau 15 : Coût de revient kilométrique amorti sur 105.000 kilomètres :

Taux de conversion au 06/11/2012 : 1 Shekel = 0,20047€	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	VE Better Place	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VE _{BP}	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	31.640 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.640 €	24.820 €
Forfait location batterie	FLB		128€/mois		
Forfait d'accès infra.	FaI			325€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	31,71cts/km	25,04cts/km	33,78cts/km	23,64cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,36cts/km		0,34cts/km	
Coût kilométrique gasoil	Ck _g				6,05cts/km
Coût d'entretien	CE	6,85cts/km		5,14cts/km	14,35cts/km
Coût de revient amorti sur 105.000km	CkR _{105K}	39,92cts/km	33,25cts/km	39,26cts/km	44,49cts/km

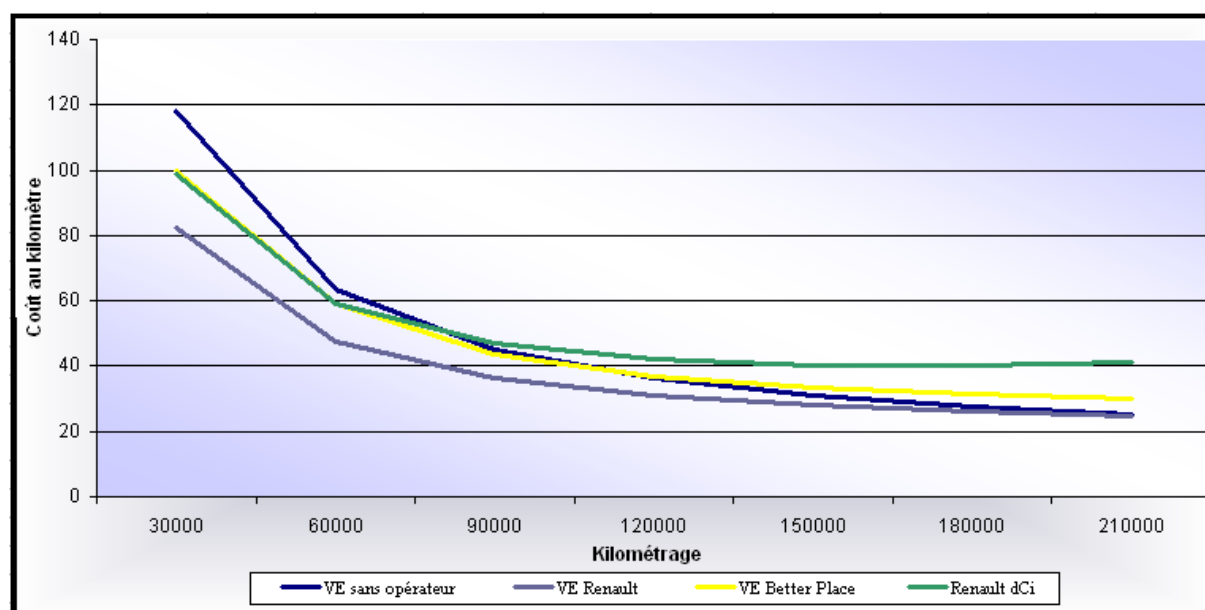
Tableau 16 : Coût de revient kilométrique amorti sur 150.000 kilomètres :

Taux de conversion au 06/11/2012 : 1 Shekel = 0,20047€	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	VE Better Place	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VE _{BP}	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	31.640 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.640 €	24.820 €
Forfait location batterie	FLB	128€/mois		325€/mois	
Forfait d'accès infra.	FaI				
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	22,20cts/km	19,41cts/km	27,55cts/km	16,55cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,36cts/km		0,34cts/km	
Coût kilométrique gasoil	Ck _g				
Coût d'entretien	CE	7,38cts/km		5,53cts/km	17,70cts/km
Coût de revient amorti sur 150.000km	CkR _{150K}	30,94cts/km	28,15cts/km	33,42cts/km	40,30cts/km

En procédant à des calculs similaires pour des kilométrages compris entre 30.000 kilomètres et 210.000 kilomètres, il nous est possible de tracer les courbes de coûts de revient de chacune des modalités alternatives d'achat d'une AE²⁸, de même que leurs seuils de rentabilité à l'égard d'un véhicule à motorisation diesel équivalent (**Figure 7** : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel). Le tableau de valeurs correspondant est porté en annexe (**Annexe 13** : Tableau d'amortissement du coût de revient kilométrique relatif de l'AE, p.574).

²⁸ Pour le cas de *Better Place*, nous avons virtuellement prolongé le lien commercial entre l'opérateur et l'utilisateur au-delà du kilométrage contractuel afin de procéder aux calculs sur des distances longues.

Figure 7 : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel :



2.2. Commentaires généraux sur le modèle de base.

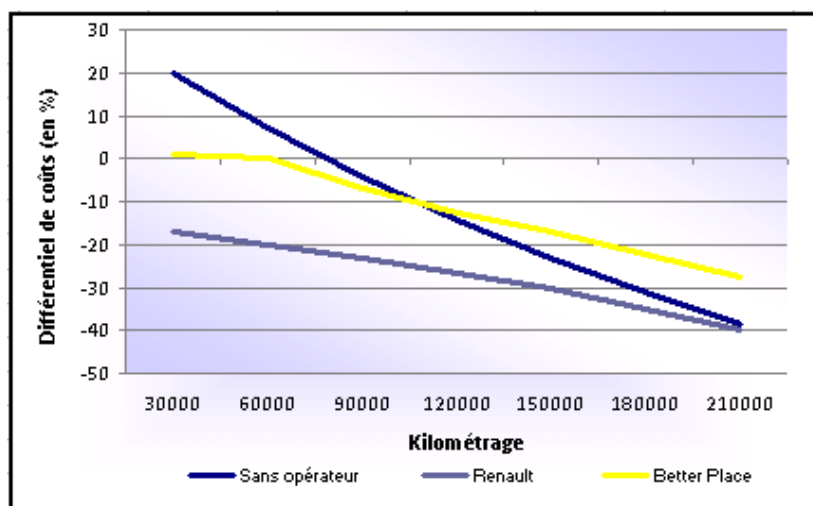
À partir de l'analyse précédente, qui cherche à distinguer les coûts de revient de l'AE en fonction de ses modes alternatifs de commercialisation, nous égrainons constats et tendances.

La lecture des tableaux de coûts kilométriques totaux illustre et confirme que l'AE et le véhicule thermique à motorisation diesel sont sujets à des structures de coûts dissemblables. L'AE est onéreuse à l'achat et moins coûteuse à l'usage, tandis que le véhicule thermique est relativement moins onéreux à l'achat, mais est sujet à un coût d'usage élevé. Concrètement, le prix d'achat d'une AE sans opérateur pèse respectivement 93,7% et 71,7% de son coût de revient lorsqu'il est amorti sur 30.000 et 150.000 kilomètres, contre 83,6% et 41,1% pour le véhicule thermique. *A contrario*, les coûts de l'énergie – en électricité ou gasoil – et d'entretien pèsent respectivement 4,4% et 23,9% des coûts de revient de l'AE lorsqu'ils sont amortis sur 150.000 kilomètres, contre 15% et 43,9% au véhicule thermique.

Notons également que si les courbes de coûts de revient (**Figure 6**, p.78) ont une allure similaire, toutes configurations confondues, il s'agit d'un phénomène mathématique. Le raisonnement par un coût kilométrique entraîne une homogénéisation artificielle des coûts en les ramenant à une même unité de distance. Dans le détail néanmoins, la courbe du coût de revient « AE sans opérateur » apparaît plus « pentue », en ce sens que son coût kilométrique, élevé en début de période, diminue fortement par la suite. Les cambrures des courbes « avec opérateurs », lesquels proposent une « fonction de mobilité » consistant à offrir une prestation forfaitaire de mobilité, sont plus ténues. Ceci met en évidence une volonté de lisser les coûts de détention et d'usage de l'AE dans le temps par les opérateurs de mobilité.

Pour appréhender l'effet de lissage, outre la représentation graphique (**Figure 8** : Différentiel de coût de revient de l'AE par rapport au véhicule thermique ; **Annexe 14** : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE par rapport au diesel, p.574), nous calculons le différentiel de coûts de revient en fonction des distances parcourues. La différence entre le coût de revient d'une AE sans opérateur amorti sur 30.000 kilomètres et son coût de revient amorti sur 210.000 kilomètres est ainsi de -78,6%, contre -70% dans les cas d'une AE vendu par Renault ou par *Better Place*. Le différentiel est de -58,3% pour le véhicule diesel.

Figure 8 : Différentiel de coût de revient de l'AE par rapport au véhicule thermique :



Le corollaire de ce phénomène de lissage est le fait que le modèle d'affaires commun aux opérateurs de mobilité électrique ne repose pas sur le subventionnement d'une partie du coût élevé de l'AE, mais vise à capitaliser sur la modicité de son coût d'usage au regard de celui du véhicule thermique, en recourant – en quelque sorte – à une avance de trésorerie. En cela, ces modèles d'affaires s'articulent à une redéfinition complète de ce qui relève du coût d'achat et du coût d'usage des véhicules. Pour les opérateurs de mobilité électrique, l'enjeu est la « variabilisation » de coûts – a priori – fixes, de sorte que l'équivalent du carburant pour le véhicule thermique ne se résume pas à l'électricité pour l'AE, mais s'étend à un ensemble formé de la recharge en électricité et de la location de batterie. Le coût d'usage de l'AE dépend donc – tout à la fois – du coût de l'électricité et du coût d'entretien, mais également du coût de la batterie, de son nombre de cycles de recharge, voire de sa valeur résiduelle.

2.3. Eléments de précision sur le modèle de base.

Préalablement à tout exercice de comparaison approfondie entre les multiples modalités de vente des AE apparaissant dans notre analyse, il faut préciser qu'elles contrastent fortement entre elles. D'une part, la batterie est louée par les opérateurs de mobilité et non fournie au format « crédit-bail » (ou *leasing*) usuel, de sorte qu'elle ne revient jamais au propriétaire de l'AE. Cette physionomie peut minorer la valeur résiduelle de l'AE et, en creux, dégrader le coût de revient et le seuil de rentabilité de ces offres vis-à-vis de l'AE « sans opérateur » et du véhicule thermique. D'autre part, les services fournis par les opérateurs de mobilité électrique diffèrent. Si Renault se contente de facturer la location de la batterie d'accumulateurs, laissant à l'utilisateur la charge financière de l'alimentation en électricité de son véhicule, les forfaits de *Better Place* donnent accès à un réseau d'infrastructure de recharge plus performant en termes de temps de recharge et dont le prix intègre le coût de l'électricité.

Un examen du coût de revient kilométrique de l'AE montre que son seuil de rentabilité par rapport à une motorisation diesel équivalente s'établit à 80.000 kilomètres (**Figure 7**, p.100), ce qui, ramené à la distance moyenne annuelle parcourue en voiture en France de 12.500 kilomètres, représente six années et trois mois. Ce chiffre, élevé dans l'absolu, doit être croisé avec la durée moyenne de détention des automobiles en France, s'établissant à cinq années (INSEE, 2012). Bien sûr, ce raisonnement en moyenne peut apparaître commode et naïf, en particulier dans la mesure où les usages de l'automobilité sont particulièrement hétérogènes (Massot, 2010 ; Collet, 2008), mais le corollaire d'une telle lecture est que dans un cadre usuel, l'AE constitue une solution de mobilité rentable par rapport à une voiture thermique.

En termes de comparaison des coûts de revient kilométriques de l'ensemble des cas analysés, nous distinguons trois périodes distinctes. La première couvre une distance de 0 à 60.000 kilomètres, pendant laquelle les niveaux de coût de revient sont très distribués, puisque la différence de coût entre la solution la moins onéreuse (« VE Renault ») et la plus onéreuse (« VE sans opérateur ») oscille entre +44% et +33,8%. Durant la deuxième période, située entre 60.000 et 100.000 kilomètres, la différence des coûts de revient se fait plus ténue, à l'exception du cas de Renault, résolument moins onéreux. La troisième période excède 100.000 kilomètres et laisse entrevoir une convergence des coûts entre les trois modalités de commercialisation de l'AE, mais une divergence avec les coûts de revient de la motorisation thermique. La courbe du coût de revient de ce dernier est, en effet, asymptotique.

Bien qu'il étaye une analyse vraisemblablement fiable des coûts de revient kilométriques de l'AE, le modèle de base mobilisé jusque-là s'avère largement imparfait et perfectible. D'une part, il nous faut revoir certaines hypothèses de base, afin d'éviter tout anachronisme et de se mettre en phase avec l'évolution probable du contexte économique. En particulier, il s'agira

de prendre en compte l'évolution des prix de l'essence et de l'électricité. D'autre part, il nous faut avoir une appréhension plus large et exhaustive des facteurs conditionnant pour les coûts de revient de l'AE et souligner, par-là, le nouveau paradigme dans lequel se place ce dernier. Notamment, nous devons intégrer un marché de l'occasion pour les batteries d'accumulateurs. Aussi, en vue de dépasser le carcan d'un contexte par trop superficiel, nous entendons désormais brasser de nouveaux éléments, qui n'ont pas seulement vocation à affiner nos résultats, mais également à mieux évaluer le poids de chaque variable sur le coût de revient kilométrique de l'AE et d'en mesurer la sensibilité à l'égard de leurs évolutions respectives.

3. Amendements au modèle de base : précisions et perspective dynamique.

Afin de s'affranchir des limites repérées, nous désirons les lever successivement et préciser ainsi progressivement les contours des coûts de revient kilométrique de l'AE. Pour cadrer cette analyse, nous recourrons à des scénarios épousant les réalités potentielles d'un contexte mouvant. Par la suite, nous adopterons un point de vue plus prospectif en explorant et en défrichant des champs voisins, tel le marché de l'occasion des batteries d'accumulateurs.

3.1. Reconsidération du modèle de base : une perspective dynamique.

Dans cette première étape, qui consiste à reconsidérer notre modèle de base à l'aune de l'évolution des grandes composantes de coût des véhicules électrique et thermique, nous raisonnons en deux étapes. Dans un premier temps, il s'agit d'évaluer l'évolution des prix de l'énergie et leurs effets sur les coûts de revient kilométriques de chacun des véhicules à l'horizon de six années, par le biais de scénarios. Si l'âge moyen d'une automobile en France est de huit années, le choix d'une période plus courte se justifie par le fait qu'il s'agit de

l'horizon connu de la technologie de la chaîne électrique, laquelle sera probablement modifiée en profondeur lorsque la Renault Fluence Z.E. sera renouvelée. Or, le cycle de vie des automobiles n'excède désormais plus 5 à 6 années en Europe, laps de temps qui est également la durée maximale des contrats de location de batteries chez Renault. Dans un second temps, nous mesurerons quels sont les effets de la disparition du soutien fiscal en faveur de l'AE.

Parmi les éléments de coût de revient dont les prix sont susceptibles de croître avec le temps, nous nous cantonnons à envisager l'inflation des prix des sources énergétique, pétrolière et électrique. Bien sûr, d'autres sources de coûts – tels que l'assurance et le stationnement – suivront certainement une trajectoire analogue, mais nous estimons, sans perte de généralité, que ces derniers toucheront uniformément chacune des motorisations. Leur prise en compte n'est donc pas impérative dans cet exercice qui vise moins l'exhaustivité des composantes du coût de revient, que la comparaison pertinente entre l'AE et son homologue thermique. Notons que notre raisonnement s'appuie sur un prix de vente de l'AE constant ce qui, compte tenu des six années de la période considérée, peut apparaître discutable. Les coûts de production de l'AE et de sa batterie s'amenuisent, en effet, à mesure de l'avancée des constructeurs sur la courbe d'expérience de cette technologie et des rendements d'échelle en dynamique (McKinsey, 2012). Ce choix est dicté par notre volonté de considérer le coût de revient sur la durée d'une AE vendu en 2012.

En vue d'envisager l'inflation possible des coûts énergétiques auxquels sont confrontés les acheteurs d'automobiles électrique et thermique, nous empruntons une voie consistant à concevoir des scénarios prospectifs. Nous formulons deux scénarios qui forment les bornes extrêmes à la hausse et à la baisse. Préalablement à l'exposé de ces deux visions du monde, il est important de rappeler que nous nous intéressons au cas français sur une période de six

années, ce qui les conditionne et les cadre. L'ambition de nos scénarios est de dresser de grandes tendances macroéconomiques et d'identifier les variables clés qui orientent l'état de l'offre et de la demande pour le pétrole et l'électricité. De ce point de vue, ils se montrent caricaturaux, mais néanmoins justes en termes de réalités et de mécanismes économiques. Par exemple, nous incluons la corrélation existant entre le prix de l'électricité et celui du baril de pétrole (Lutsky, 2009), tout en la nuancant. En effet, bien que les sous-jacents puissent perdurer, cette évolution parallèle est soumise aux aléas macroéconomiques ou, à l'échelle nationale, à la nature du mix énergétique.

3.1.1. Scénarios : hypothèses de travail.

Dans le premier scénario, intitulé « Or noir », la croissance économique mondiale est essentiellement tirée par les pays émergents qui ne prennent pas la pleine mesure de leur impact sur les ressources énergétiques fossiles. Leur croissance potentielle est bornée par l'accès aux ressources et l'augmentation des prix qui résulte du jeu de l'offre et de la demande sur ces marchés. Englués dans la crise, par l'influence croisée du poids des dettes souveraines et des politiques de rigueur qui se sont généralisées à l'échelle du continent, les pays européens sont incapables de promouvoir efficacement un mode de croissance plus vertueux, d'autant que leurs économies pâtiennent au premier chef de la hausse des cours du pétrole. Leurs efforts se montrent insuffisants pour compenser l'essor des pays émergents, aux considérations environnementales minimalistes et s'ensuit une augmentation soutenue et durable des cours du pétrole, atteignant structurellement des sommets jusque-là connus conjoncturellement, car l'offre de pétrole est durablement inférieure à la demande formulée.

Au niveau français, le taux de croissance souffreteux du PIB limite les recettes de l'Etat et entretient ses dépenses sociales. Le secteur automobile, représentant un pan de l'économie important, est peu mis à contribution, de manière à limiter les saignées chez les constructeurs hexagonaux, dont les ventes sont déjà touchées par la hausse tendancielle des prix du pétrole. La fiscalité du Gasoil doit néanmoins rattraper en quelques années le niveau moins avantageux auquel est soumis le carburant Super²⁹. Notre scénario « Or noir » envisage ainsi une croissance des prix du Gasoil de 15% par an à compter de 2012, ce qui représente un prolongement de la tendance imprimée entre les années 2009 et 2011, avant l'atteinte d'un palier en 2012 (**Annexe 15** : Evolution des prix des carburants en France – 2007-2012, p.575).

La demande d'électricité en France, pour sa part, pâtit de la situation économique et du manque de compétitivité-coût et hors-coût des produits nationaux. Ce contexte morose a raison de grandes firmes industrielles qui s'éteignent ou délocalisent tout ou partie de leur outil productif. Aussi, malgré la croissance du taux d'équipement des ménages en produits électriques et le solde naturel positif dont le pays peut se prévaloir, la demande agrégée d'électricité stagne, en ligne avec la période récente (**Annexe 16** : Consommation d'électricité en kilowattheure en France – 1960-2012, p.575). Le renouvellement des unités de production d'électricité est lent, de sorte que le mix énergétique évolue peu sur la période et que l'offre d'électricité se maintient à son niveau actuel. Dans ces conditions, le kilowattheure d'électricité évolue modérément, de 2% par an sur la période concernée, ce qui correspond au taux de croissance annuel moyen de son prix entre 2008 et 2011 (Source : Eurostat).

Dans le second scénario, intitulé « Vert », la croissance économique mondiale et ses fruits se répartissent plus également. Après une période morose, les pays anciennement industrialisés

²⁹ La taxation comprend la TVA et à la Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Energétiques (TICPE).

empruntent une nouvelle trajectoire tirant parti des principes de l'économie verte. Les pays émergents leur emboîtent le pas, avec un décalage temporel, nuisant peu à leur dynamisme, tout en jugulant la hausse des prix des produits pétroliers. Portés par un environnement macroéconomique redevenu favorable, les pays les plus avancés contribuent, à leur niveau, à endiguer l'envolée des prix du pétrole. Parallèlement, les pays exportateurs de pétrole appartenant à l'OPEP (Organisation des pays exportateurs de pétrole) poursuivent leur mue et modifient leur mode de croissance en réduisant graduellement leur production pour maintenir un cours du pétrole élevé et accompagner, par-là, leur transition. Les prix du pétrole se maintiennent ainsi à des niveaux assez élevés durant le premier tiers de la période qui nous intéresse et entament un repli régulier ensuite, de 5% par année.

En ce qui concerne l'électricité, le mode de croissance « vertueux » adopté par les pays les plus avancés va de pair avec une révolution culturelle. Les dépenses dans les technologies vertes sont désormais assimilées à des vecteurs de croissance adossés à un nouvel écosystème solide et dynamique. Dans ce cadre, le mix énergétique français évolue à travers la diffusion des énergies renouvelables (EnR) et la fermeture, avec deux ans d'avance sur le calendrier, de la centrale nucléaire de Fessenheim, à la fin de l'année 2014. Ces évolutions occasionnent un renchérissement des coûts de production de l'électricité. Fruit de son verdissement, la croissance est moins gourmande en énergies fossiles, auxquelles se substituent de nouvelles sources plus coûteuses à court terme. Sous les injonctions d'EdF et malgré des tarifs régulés, le prix du kWh augmente de 4% par an lors des deux premières années, de 7% sur le deuxième tiers de la période puis de 4% par an, grâce à l'amélioration de la rentabilité des EnR qui infusent le mix énergétique. Ces hausses propulsent le prix moyen du kWh d'électricité à un niveau proche de celui des partenaires commerciaux européens de la France.

Nous n'avons pas croisé précocement nos scénarios à la problématique de l'émergence et de la diffusion de l'AE, car elle n'est pas triviale et conditionne en partie les prix de l'électricité et la fiscalité de l'AE, particulièrement si ce dernier venait à remplacer un nombre conséquent de véhicules à motorisations essence et diesel. Pour contrôler ces phénomènes, nous avons privilégié une approche alternative dans laquelle nos deux scénarios dressent un panorama général orientant effectivement les prix de l'énergie et les politiques publiques en matière de régulation environnementale, mais dont la relation n'est pas univoque et reste soumise à des facteurs contingents que nous explicitons plus en avant. Il s'agit, en particulier, de tenir compte d'effets direct, indirect et induit liés à la diffusion de l'AE.

3.1.2. Scénarios : quelques perfectionnements.

Dans notre analyse des scénarios, nous avons volontairement omis d'inclure l'AE, car celui-ci soulève nombre de questionnements et donne lieu à des phénomènes en chaîne assimilables à des effets direct, indirect et induit. L'effet direct concerne l'impact de la diffusion de l'AE sur la demande journalière d'électricité et, par-là, sur le coût du kWh d'électricité. L'effet indirect porte sur la fiscalité à laquelle est assujettie l'électricité servant de carburant à l'AE, dans l'éventualité d'une diffusion importante. L'effet induit relève de la disparition, du maintien ou du renforcement des aides fiscales en faveur de l'AE, qui dépend de l'appétence des gouvernements pour la question environnementale ou de l'implication de la fiscalité sur l'électricité-carburant à l'égard du coût de revient de l'AE. La prise en compte de la diffusion de l'AE sur nos scénarios s'opère ainsi en deux temps. D'une part, il s'agit de comprendre sur quel(s) scénario(s) et dans quel(s) sens cette diffusion est-elle amenée à jouer. D'autre part, il s'agit d'établir si la diffusion de l'AE a un effet significatif sur le coût du kWh d'électricité.

L'examen des scénarios souligne l'existence de phénomènes multiples, dont les effets sur la diffusion de l'AE sont divergents. En se basant sur le seul coût relatif du kWh d'électricité par rapport au Gasoil, le résultat est particulièrement contre-intuitif. En effet, toutes choses égales par ailleurs, notamment hors fiscalité favorable pour l'AE, le contexte du scénario « Or noir », où le coût de l'essence évolue à la hausse et le coût de l'électricité se maintient, est plus propice à l'essor de l'AE. Inversement, l'environnement dépeint dans le scénario « Vert » lui est plus défavorable, puisqu'il occasionne une flambée du prix de l'électricité et une légère décade du prix du Gasoil. Pour autant, dans une appréhension plus générale des facteurs influençant l'émergence et la diffusion de l'AE, ce résultat paradoxal est à nuancer.

Avant toute chose, comme nous le verrons plus en avant, le coût énergétique n'est pas la composante principale du coût de revient de l'AE. En outre, il est nécessaire de prendre en considération les effets d'interdépendance entre les politiques publiques. La mise en place de ZAPA (Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air), le maintien – à l'échelle locale et nationale – d'aides fiscales en faveur de l'AE, ou encore, la mise en œuvre de systèmes d'autopartage à grande échelle et de réseaux d'infrastructures publiques de recharge denses, semblent plus en phase avec notre scénario « Vert ». De ce point de vue et par souci de simplicité, nous faisons l'hypothèse que l'AE adopte un rythme de diffusion semblable sur chacun des scénarios. En d'autres termes, nous suggérons – très improprement (Cf. **Partie 3**) – que la dégradation du seuil de rentabilité de l'AE dans le cadre du scénario « Vert » est exactement compensée par une politique publique qui lui est plus favorable que dans le scénario « Or noir ».

Afin d'évaluer l'impact de la diffusion de l'AE sur la demande journalière d'électricité, il est nécessaire de considérer quatre critères qui ont trait au nombre d'AE, à leurs performances et aux comportements de recharge des utilisateurs. En premier lieu, il faut envisager un parc

d'AE sur les six années qui nous importent. La tâche est d'autant plus ardue que par le jeu des effets direct, indirect et induit, le nombre d'AE au début de la période influence le nombre d'AE en fin de période. En deuxième lieu, il faut mesurer les besoins en électricité des AE, en recourant à une double clé de répartition associée aux parts de marché de chaque modèle – aux besoins propres – et aux usages qui en sont faits. En troisième lieu, il faut analyser la répartition des modes de recharge lent et rapide, puisque l'appel de puissance au réseau électrique est plus que proportionnel à la réduction du temps de charge. Enfin, il faut indiquer si les recharges s'opèrent en journée ou bien le soir, pour leur adosser un tarif d'électricité correspondant aux « heures pleines » ou aux « heures creuses ». Notre objectif étant de parvenir à un ordre de grandeur, nous apprécions grossièrement ces données.

En 2010, dans son plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement et de la Mer visait la mise en circulation cumulée de 450.000 AE en 2015 et de 2 millions d'AE en 2020, représentant alors 10% des ventes de véhicules neufs en France. Sur cette base, Réseau de Transport d'Electricité (2010) a évalué la consommation annuelle d'électricité finale par les AE à près de 1 TWh pour 2015 et 4 TWh pour 2020, en privilégiant des recharges lentes en période creuse. Ces données méritent d'être retraitées. D'abord, la période qui nous importe s'étend jusqu'à 2018, et non 2020. Ensuite, ces chiffres sont surestimés considérant l'émergence inertielle de l'AE en 2011 et 2012³⁰. Un prolongement de la tendance actuelle invite à admettre un chiffre à 150.000 AE à l'horizon 2015 et de 500.000 AE en 2018, soit 4% à 6% du marché automobile français par an. Finalement, il est présomptueux de penser que les recharges seront prioritairement lentes et effectuées en période creuse, alors même que les AE sont aujourd'hui majoritairement vendus aux entreprises, plus susceptibles que d'autres d'investir dans des bornes de recharge rapides.

³⁰ En 2011, 4535 voitures purement électriques ont été vendus en France (CCFA, 2012). Au premier semestre 2012, 5446 AE ont été immatriculées en France (AVEM, 2012), ce qui traduit une montée en puissance. Les estimations nationales envisageaient la vente de 25.000 à 50.000 AE par an sur chacune de ces deux années.

Or, 50.000 AE sollicitant simultanément une recharge rapide nécessitent 2 GW de puissance instantanée, soit l'énergie produite par deux réacteurs nucléaires (ADEME, 2009).

A l'aune de ces précisions, nous estimons que l'effet net d'un nombre attendu d'AE en baisse et d'une consommation d'électricité probablement revue à la hausse amène à se baser sur les chiffres de 1 TWh et 4 TWh de production d'électricité supplémentaires avancés par RTE. Ramenés à la consommation intérieure française de 478,2 TWh en 2011, et en supposant qu'elle se stabilise, ces chiffres représentent respectivement une hausse de 0,21% et 0,84%. Insuffisant, *a priori*, pour mettre à mal la production totale nette d'électricité en France de 548,8 TWh en 2011, si bien que la question des investissements nécessaires pour mettre les réseaux électriques à niveau afin d'accueillir un parc d'AE apparaît secondaire. A elle seule, la diffusion de l'AE ne semble pas devoir augmenter drastiquement le coût du kilowattheure d'électricité, y compris à moyen terme. Semblablement, une part de marché comprise entre 4% et 6% du marché automobile français, n'induit pas, *a priori*, de faire peser une fiscalité spécifique sur l'AE, en dehors d'une volonté de nature politique.

Concernant les deux scénarios, nos hypothèses de travail sont ainsi les suivantes. La diffusion de l'AE est sensiblement la même quel que soit le scénario, bien qu'elle résulte de causes distinctes. Au surplus, la hausse du kWh d'électricité engendrée par la diffusion de l'AE est marginale, de sorte qu'elle n'influence pas nos hypothèses préalables, que nous rappelons ici. Pour le scénario « Or noir », les prix du Gasoil augmentent de 15% l'an à compter de 2012 (TcA_g), ce qui améliore les recettes fiscales de l'Etat et n'encourage pas la taxation de l'électricité carburant qui, en outre, pénaliserait l'essor toujours attendu de l'AE. Le kWh d'électricité évolue, pour sa part, de 2% par année sur la période concernée (TcA_e). Pour le scénario « Vert », les données sont plus complexes. Sur le premier tiers de la période de six

années, les prix du pétrole et, par-là, du Gasoil, se maintiennent à leur niveau actuel, pour entamer un repli de 5% par an par la suite. Dans la mesure où les EnR, plus coûteuses à court terme, infusent le mix énergétique, nous estimons que le prix du kWh d'électricité augmente de 4% par an lors des deux premières années, de 7% sur le deuxième tiers de la période puis de 4% par an.

$$Ck_{scena}R_{Dkm}(VE) = [(PA_{dfc} + FlB + FaI) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] + RP * [(A_{VE} * CsB) * (CM_e * TcA_e] + Cat * [(Cmin * CEk_{VT}) * (Cmax^{D_{km}})] \quad (7)$$

$$Ck_{scena}R_{Dkm}(VD) = [(PA_{dfc} + FlB + FaI) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] + (CoM_{vd}) * (CM_g * TcA_g) + Cat * [(Cmin * CEk_{VT}) * (Cmax^{D_{km}})] \quad (8)$$

3.2. Phase calculatoire.

Afin d'adapter ces nouvelles données, exprimées sur une échelle temporelle et non en termes de distances parcourues, une mise en correspondance est impérative. Pour cela, nous ramenons chaque distance totale à une distance annuelle. Implicitement, nous faisons donc l'hypothèse que l'évolution du kilométrage est monotone, ce qui signifie que les automobilistes adoptent un rythme régulier, similaire d'une année sur l'autre. Chaque distance annuelle devient ainsi un gradient qui nous sert à évaluer l'importance de la hausse du coût respectif de l'électricité et du Gasoil. Par exemple, si le prix du Gasoil augmente à compter du deuxième tiers de la période, il nous faut premièrement considérer le kilométrage total envisagé et, secondement, imputer les variations de coûts aux échéances et aux périodes adéquates (**Tableau 17** : Séquençage kilométrique de la période de six années). Cette approche nous permet également de chiffrer exactement le coût des forfaits dans le cas des opérateurs de mobilité électrique.

Tableau 17 : Séquençage kilométrique de la période de six années :

Kilométrage total	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6
30.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
60.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
90.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
120.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
150.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
180.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
210.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000

En procédant pareillement, nous amortissons systématiquement la distance parcourue sur six années, ce qui fausse quelque peu le calcul du coût de revient de l'AE pour les utilisateurs qui parcourraient une distance analogue dans un laps de temps plus court. En cela, notre analyse aura surtout valeur de comparaison.

3.2.1. Calcul du coût de revient relatif de l'AE, en fonction des scénarios.

Afin de donner un aperçu du coût de revient et du seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel et avant de s'employer à reproduire ce calcul pour l'ensemble des distances comprises entre 30.000 et 210.000 kilomètres, nous appliquons nos scénarios à une distance de 90.000 kilomètres (**Tableau 18** : Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres du scénario « Or noir » ; **Tableau 19** : Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres du scénario « Vert »). Les formules d'abonnement pour la location de batteries sont amortis sur six années, ce qui ne permet pas d'intégrer les offres de *Better Place*, limitées à une période de trois années. Les calculs sont disponibles en annexe (**Annexe 17**, p.576 ; **Annexe 18**, p.576).

Tableau 18 : Coût de revient kilométrique amorti sur 90.000 km / scénario « Or noir » :

	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.820 €
Forfait location batterie	FLB		96€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	37cts/km	29,79cts/km	27,58cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,53cts/km		
Coût kilométrique gasoil	Ck _g			13,99cts/km
Coût d'entretien	CE	6,69cts/km		13,38cts/km
Coût de revient amorti sur 90.000km	Ck _{ONR90K}	45,22cts/km	38,01cts/km	54,95cts/km

Tableau 19 : Coût de revient kilométrique amorti sur 90.000 kilomètres / scénario « Vert » :

	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.820 €
Forfait location batterie	FLB		96€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	37cts/km	29,79cts/km	27,58cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,82cts/km		
Coût kilométrique gasoil	Ck _g			4,93cts/km
Coût d'entretien	CE	6,69cts/km		13,38cts/km
Coût de revient amorti sur 90.000km	Ck _{VR90K}	45,51cts/km	38,30cts/km	45,89cts/km

En procédant à des calculs reposant sur des critères analogues pour des kilométrages compris entre 30.000 et 210.000 kilomètres, il nous est possible de tracer les courbes de coûts de revient des modalités alternatives d'achat d'une AE, ainsi que de calculer le seuil de rentabilité de l'AE à l'égard d'un véhicule diesel équivalent (**Tableau 20 ; Tableau 21**)

Tableau 20 : Tableau d'amortissement des coûts de revient – scénario « Or noir » :

Scénario « Or noir »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
30.000	118,6		106,84
60.000	63,4	50,91	67
90.000	45,22	38,01	54,95
120.000	36,31	31,86	50,05
150.000	31,11	28,32	48,24
180.000	27,78		48,13
210.000	25,46		49,22

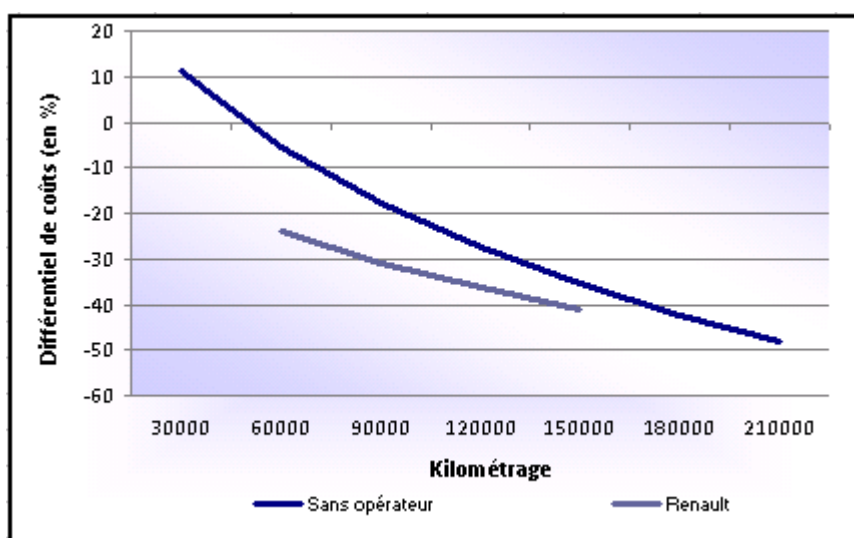
Tableau 21 : Tableau d'amortissement des coûts de revient – scénario « Vert » :

Scénario « Vert »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
30.000	118,89		97,78
60.000	63,69	51,2	57,94
90.000	45,51	38,3	45,89
120.000	36,6	32,15	40,99
150.000	31,4	28,61	39,18
180.000	28,07		39,07
210.000	25,75		40,16

A la lecture de ces chiffres, un point mérite d'être souligné. Si la situation est contrastée entre les scénarios, l'impact d'une flambée du prix respectif du gazole ou de l'électricité ne modifie

pas profondément le niveau de rentabilité de l'AE par rapport à son homologue thermique. L'AE se montre toujours moins dispendieux à mesure que le kilométrage effectué augmente. Dans le détail, la formule de vente de l'AE par Renault reste la moins onéreuse, tandis que le seuil de rentabilité d'une AE sans opérateur évolue au gré des scénarios. Le scénario « Vert » fait apparaître une situation où les changements sont ténus, avec un seuil de rentabilité avoisinant à nouveau les 90.000 kilomètres, tandis que le scénario « Or noir » fait intervenir ce seuil bien plus tôt, à l'orée des 50.000 kilomètres, soit quatre années pleines d'utilisation, en fonction de la distance annuelle moyenne parcourue par les ménages français (**Figure 9** : Différentiel de coût de revient de l'AE face au diesel – scénario « Or noir » ; **Annexe 19** : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE – scénario « Or noir », p.576).

Figure 9 : Différentiel de coût de revient de l'AE face au diesel – scénario « Or noir » :



Compte tenu de la structure des coûts respective de l'AE et du véhicule diesel, la sensibilité de leurs coûts de revient à la hausse des coûts énergétiques est sensiblement distincte. Dans le cas de l'AE, le coût de revient évolue à l'intérieur d'une bande étroite. Pour le véhicule diesel, le coût de revient évolue entre deux bornes minimale et maximale fortement écartées (**Annexe 20** : Evolution du coût de revient du véhicule diesel selon les scénarios fixés, p.577).

3.2.2. Impact de la disparition des aides fiscales à l'achat d'AE.

Après la mesure d'impact de l'évolution des coûts énergétiques sur le coût de revient de l'AE, nous envisageons la disparition des aides fiscales à l'achat pour l'AE. Notons qu'en France, le Bonus de 7.000 euros qui apparaît dans la loi de finance 2013, est destiné à disparaître à court ou moyen terme. Comme nous l'avons déjà souligné, un tel calcul devrait être croisé à la diminution progressive des coûts de production de l'AE et de sa batterie pour saisir plus précisément l'évolution des prix de vente des AE. Toutefois, devant la difficulté de l'exercice, sa dimension aléatoire et notre volonté d'appréhender le coût de revient actuel d'une AE, nous nous contentons de modifier les prix d'achat des AE (**Tableau 22**).

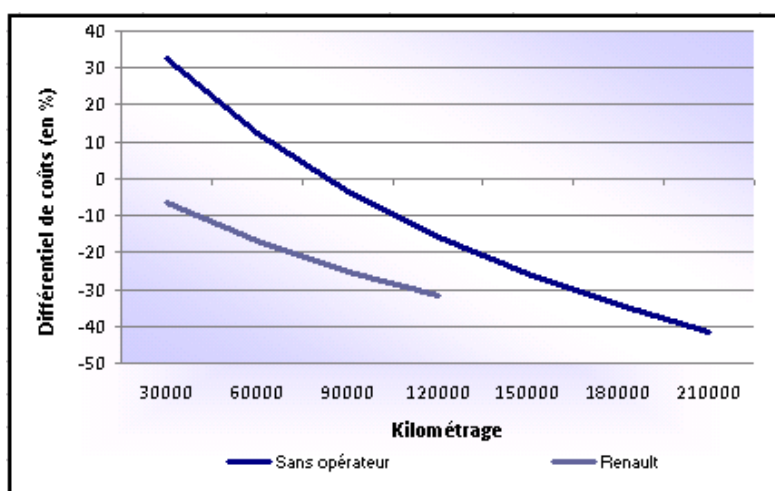
Tableau 22 : Tableau d'amortissement - coûts de revient hors bonus par scénarios :

Scénario « Or noir »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (R. Fluence)
30.000	141,9		106,84
60.000	75,1	62,61	67
90.000	53,02	45,81	54,95
120.000	42,16	37,45	50,05
150.000	35,81	33,02	48,24
180.000	31,68		48,13
210.000	28,81		49,22

Scénario « Vert »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (R. Fluence)
30.000	142,19		97,78
60.000	75,39	62,9	57,94
90.000	53,31	46,1	45,89
120.000	42,45	38	40,99
150.000	36,1	33,31	39,18
180.000	31,97		39,07
210.000	29,1		40,16

Alors que la flambée du prix respectif du gazole ou de l'électricité n'altérerait pas fortement le niveau de rentabilité de l'AE par rapport à son homologue thermique, l'abandon des mesures fiscales en faveur de l'AE modifie radicalement la donne. Par exemple, le seuil de rentabilité de la formule de vente de l'AE par Renault est seulement atteint au bout de 90.000 kilomètres dans le scénario « Vert ». Elle reste la moins onéreuse dans le scénario « Or noir ». La dégradation du coût de revient de l'AE sans opérateur est encore plus significative, puisque son seuil de rentabilité passe de 50.000 kilomètres à 90.000 kilomètres, pour le scénario « Or noir », contre 90.000 kilomètres à 130.000 kilomètres, pour le scénario « Vert » (**Figure 10** : Différentiel de coût de revient - AE / diesel, hors bonus – scénario « Or noir » ; **Annexe 21** : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE, hors bonus – « Or noir », p.577).

Figure 10 : Différentiel de coût de revient - AE / diesel, hors bonus – scénario « Or noir » :



4. Reconsidération du modèle de base : Eléments de prospective.

Dans cet exercice visant à préciser progressivement les contours des coûts de revient de l'AE, nous abordons une nouvelle et dernière étape, qui se présente sous des traits plus prospectifs. Il s'agit, d'une part, d'explorer des voies alternatives de valorisation de la batterie

d'accumulateurs de l'AE, telle que la possibilité de sa revente sur un marché de seconde monte ou bien d'en tirer un revenu via le stockage transitoire d'électricité. Il s'agit, d'autre part, d'investir et de défricher un champ quasi sevré de recherches, celui du marché de l'occasion de l'AE, afin d'approximer sa valeur de revente, élément fondamental dans le calcul d'un coût total de détention (TCO). Une phase calculatoire suivra ces modes de valorisation successifs.

4.1. Les voies alternatives de commercialisation de l'AE et de sa batterie.

En analysant la structure et l'évolution du coût de revient kilométrique de l'AE, nous avons pu constater l'importance que revêt le prix de vente de ce dernier, en particulier celui de sa batterie. Il convient pourtant de nuancer ce propos à l'aune du nouveau paradigme dans lequel s'inscrit l'AE. En effet, si dans le cas du véhicule thermique, le couple moteur-réservoir a une seule finalité, celle de permettre le mouvement du véhicule, l'AE offre la possibilité de valoriser financièrement – sous diverses formes et à différentes étapes de son cycle de vie – les propriétés singulières de sa batterie d'accumulateurs. Nous allons voir que ces sources de valorisation sont de nature à diminuer le coût de revient de l'AE.

Afin de comprendre à quels titres la batterie d'accumulateurs de l'AE peut constituer une source de revenus, il est notamment nécessaire de rapprocher la problématique de l'AE à celle des systèmes électriques et des infrastructures énergétiques. Précédemment, nous avons identifié les applications stationnaires, où les batteries constituent un maillon du système électrique, comme l'un des marchés identifiés des batteries d'accumulateurs (CGDD, 2009). Cette potentialité fait écho à la diffusion des EnR intermittentes, dont la nature intermittente occasionne un décalage temporel entre le niveau de l'offre et celui de la demande en

électricité. Aussi, à mesure que les EnR intermittentes intègrent le mix énergétique, elles nécessitent la mobilisation de capacités de stockage transitoire d'électricité toujours supérieures de la part des énergéticiens, lesquels peuvent faire appel aux batteries des AE. La question du croisement entre l'AE et les systèmes électriques sera approfondie lors de notre deuxième partie, dans le cadre du système d'électromobilité qualifié de « multifactes ».

Avec force détails, nous allons désormais inventorier les contextes d'utilisation du potentiel de stockage d'électricité des batteries, ainsi que les stratégies mises en œuvre par les constructeurs et opérateurs de mobilité électrique pour s'adapter à ce nouveau paradigme.

Les applications industrielles qui tirent parti du potentiel de stockage des batteries sont variées. Outre le lissage d'apport d'énergie au réseau électrique en faveur des énergéticiens dans le cas des EnR intermittentes, les batteries peuvent faire office d'alimentation de secours sous la forme de la fourniture d'alimentations sans interruption³¹ ou fournir des solutions de sauvegarde des réseaux électriques³². Il peut s'agir également du stockage d'électricité en provenance des panneaux photovoltaïques pour des besoins résidentiels et industriels, dans le cas de bâtiments à haute qualité environnementale (ADEME, 2011.a).

D'après les projections de « 4R Battery Corp », une co-entreprise fondée en 2010 entre le groupe Renault-Nissan – via Nissan Motor – et *Sumimoto*, la demande pour de telles batteries devrait atteindre l'équivalent de 50.000 AE par an pour le Japon en 2020. L'activité de l'entreprise est de revendre des batteries pour les applications stationnaires, en les ayant

³¹ Un système d'alimentation sans interruption (ASI) est un dispositif électrique fournissant une puissance de courte durée lorsque l'alimentation principale est heurtée ou inexistante. Il est constitué de plusieurs éléments, parmi lesquels un dispositif de stockage d'énergie, telles que la batterie d'accumulateurs.

³² Quand les limites des systèmes ASI sont atteintes, lors de fortes coupures de courant (rupture de lignes électriques,...), des solutions de sauvegarde des réseaux électriques leur emboîtent le pas. C'est le cas pour les réseaux « sensibles » ou « critiques », tels que les réseaux télécoms, la sûreté des locaux (détection d'incendie), ou bien encore la surveillance de réseaux (voies navigables, réseaux ferrés, parcs logistiques, réseaux d'eau,...).

préalablement personnalisées en fonction des besoins des clients. Notons, en effet, qu’au bout de six à dix ans, une batterie conserve 70% à 80% de sa capacité de stockage initiale, car elle supporte près de 2000 cycles de charges et décharges. Dans cette mouvance, *General Motors* – via la marque Chevrolet – et l’énergéticien ABB se sont associés en 2011 pour mener des recherches sur l’utilisation des batteries usagées. Le résultat suivant lequel une batterie d’occasion permettrait d’alimenter jusqu’à cinquante foyers pendant quatre heures lors d’une panne de courant (ABB, 2011) ouvre la voie à un véritable marché.

Ces options d’application concernent des batteries « stationnaires », mais également des batteries dont l’on fait un double usage. Il en émane une double logique de valorisation des batteries, que nous qualifions d’« *ex-post* » et de « concomitante ». La valorisation *ex-post* renvoie à une conception « extensive », consistant à allonger le cycle de vie des batteries par une utilisation alternative à la fin de vie de l’AE. La valorisation concomitante renvoie à une conception « intensive », où une batterie remplit deux fonctions à la fois, celle de stocker de l’énergie pour le réseau électrique et celle de permettre le déplacement de l’AE (**Tableau 23** : Valorisation *ex-post* et concomitante des batteries d’accumulateurs).

Tableau 23 : Valorisation *ex-post* et concomitante des batteries d’accumulateurs :

	Valorisation <i>ex-post</i>	Valorisation concomitante
Usages	1. Déplacement du VE dans le cadre d’une fonction de mobilité 2. Stockage d’électricité en faveur du réseau électrique	
Nature de la valorisation	Extensive	Intensive
Nature des usages	Consécutifs	Concomitants

Source : représentation de l’auteur

Dans un premier temps, nous analysons le cas de la valorisation *ex-post* des batteries afin de jauger sa capacité, via une durée d’amortissement des batteries allongée, à réduire le coût de

revient de l'AE. Dans cette partie, au-delà de la revente de la batterie, nous considérerons deux autres vecteurs de valorisation, la valorisation s'appuyant sur le recyclage de la batterie et la revente de l'AE, dans cet ordre. Pour chacune, nous prendrons le soin de repérer quels sont les acteurs bénéficiaires en fonction des multiples modalités de commercialisation de l'AE.

4.1.1. Valorisation ex-post de la capacité de stockage de la batterie.

Dans la mesure où les batteries d'accumulateurs sont susceptibles d'être revendues ou de faire l'objet d'un usage alternatif à l'issue de leur application à l'automobile, nous intégrons l'opportunité d'amortir leur coût en deux temps. Notre démarche sera, en premier lieu, d'estimer leur valeur de revente et, en second lieu, d'étudier la possibilité de défalquer ce prix au coût initial de l'AE en fonction de ses modalités de vente.

Pour estimer la valeur de revente des batteries, il faut tenir compte de plusieurs paramètres. Par exemple, le mode d'utilisation des batteries dégrade plus ou moins précocement et fortement leur capacité de stockage. On estime ainsi que la dégradation des batteries n'est pas seulement une fonction croissante du nombre de cycles de charges, mais également du nombre de charges rapides à haut voltage opérées au cours de leur vie. Pour des questions de simplicité et parce qu'aucun élément ne nous permet d'admettre – *a priori* – qu'un mode de commercialisation de l'AE sera relativement plus friand en charges rapides, nous soumettons l'ensemble des alternatives à une hypothèse d'utilisation analogue. Le calcul de la valeur de revente des batteries se scinde alors en trois étapes. D'abord, nous analysons la longévité des batteries, puis en évaluons la valeur de rachat en fonction d'un horizon temporel déterminé, fixé à six années. Enfin, nous calculons la valeur actualisée nette des batteries.

Pour des raisons pratiques et méthodologiques, nous admettons que les batteries sont vendues au terme de six années. Parce que le kilométrage parcouru influence la dégradation en dynamique de la capacité de stockage des batteries, nous estimons que la dégradation est plus élevée pour des distances supérieures ou égales à 150.000 kilomètres. En effet, à raison de 150 kilomètres d'autonomie réelle, une AE aura connue, à cette échéance, plus de 1000 cycles de charge, soit la mi-vie de sa batterie. Pour les distances inférieures à 150.000 kilomètres, une dégradation de 20%, qui fait consensus pour une batterie âgée de six à dix ans (ADEME, 2011.a). Pour des distances supérieures, nous considérons une dégradation de 30% (**Tableau 24** : Dégradation en dynamique de la capacité de stockage des batteries pour AE).

Tableau 24 : Dégradation en dynamique de la capacité de stockage des batteries pour AE :

Critères	Distance < 150.000km	Distance > 150.000km
	< 1.000 cycles	> 1.000 cycles
Dégradation envisagée au terme de 6 ans	20%	30%

A l'horizon de la revente des batteries, une fois leur application automobile révolue, le choix s'offrira d'acquérir des batteries neuves ou d'occasion. Il est donc nécessaire d'estimer le coût des batteries neuves en 2018. La valeur moyenne des études de référence est fixée à 375 euros le kilowattheure³³ (CM_{kWh}), soit 8.250 euros pour une batterie de 22 kW (CsB), auxquels s'ajoute la marge du producteur (M_p), estimée à 9%, soit 9.000 euros par batterie.

Puisque les batteries jouissant d'une seconde vie ont, par définition, déjà subi un nombre conséquent de cycles de charge, elles doivent faire l'objet d'un reconditionnement. Une telle réutilisation dans un usage automobile ou alternatif occasionne des coûts de transfert (C_t) liés

³³ Le coût du kilowattheure d'une batterie en 2018 est respectivement estimé à 320 euros (Electric coalition), 400 euros (Roland Berger) et 410 euros (BCG).

au réadressage³⁴. Ajoutés à la marge de la firme reconditionnant les batteries, nous chiffrons ces coûts de transfert à 30% de la valeur de revente des batteries. Finalement, nous devons apprécier la dégradation de la capacité de stockage des batteries en fonction des distances effectuées (DCsB). Par approximation, nous estimons que la valeur de revente potentielle des batteries ayant parcouru plus de 150.000 kilomètres est de 3.600 euros. Le prix de revente des batteries ayant parcouru moins de 150.000 kilomètres s'établit à 4.500 euros, ce qui corrobore l'analyse de Frost&Sullivan (2010) évaluant leur prix de revente à 4.000 euros en 2020.

Une fois la valeur de rachat des batteries au lithium-ion en 2018 estimée, il nous reste à en calculer la valeur actualisée nette en l'assujettissant à un taux d'actualisation (T_A), afin de soustraire cette valeur du coût d'achat des AE. L'évolution depuis 2000 de l'inflation hors énergie en France augure d'une tendance stable dans le temps, située à un niveau proche de 1,8% par an. Ainsi chiffrée, et après ces multiples retraitements et affinements, nous évaluons la valeur actualisée nette de revente des batteries (VrB_A) à 3.230 euros pour les distances supérieures ou égales à 150.000 kilomètres et à 4.035 euros pour les distances inférieures.

$$VrB_A = [[(CM_{kWh} * CsB + Mp) * Ct] * DCsB] * (1 - T_A)^{Nba} \quad (10)$$

Précisons qu'une incertitude plane sur les bénéficiaires des fruits de la revente des batteries vendues par les opérateurs de mobilité électrique. En effet, si la revente des batteries usagées est probable, en ce sens qu'il existe une demande solvable, il reste à savoir sous quelle forme et selon quelle clé de répartition ces derniers distribueront une partie des gains à leurs clients. Pour l'heure, aucune réponse ne semble pouvoir être apportée. Nous partons du principe que le transfert n'intervient pas de manière directe, mais indirectement par l'intégration de cette recette dans le calcul du RoI (retour sur investissement) des opérateurs, de manière à alléger

³⁴ On songe ici au fait de désolidariser la batterie du châssis de l'AE et de la reconditionner. L'éventuel transport de packs de batteries de 250 kilogrammes pourra également s'avérer coûteux.

le coût d'abonnement pour les usagers et à maximiser leurs parts de marché. Dans la mesure où notre travail n'est pas normatif et se borne à étudier la situation actuelle, nous estimons que la revente de la batterie concerne uniquement les AE non adossés à un opérateur de mobilité. Il peut apparaître inopportun de calculer un prix de vente pour les batteries en s'appuyant uniquement sur des données en termes de coûts et sans confronter une offre à une demande. Cette assertion est d'autant plus sensée qu'au surplus d'une demande dédiée au stockage stationnaire d'électricité, deux sources alternatives pour des batteries d'occasion interpellent. D'une part, à la fin de la période contractuelle, les particuliers qui louent leurs batteries aux opérateurs de mobilité peuvent se tourner vers de nouveaux contrats ou bien vers l'achat d'une batterie en seconde monte. En dissociant la détention de l'AE et celle de sa batterie, louée pour une durée de temps limitée, les opérateurs de mobilité électrique créent ainsi *ex-nihilo* un débouché pour leurs propres batteries. D'autre part, le recyclage, un mode distinct de valorisation *ex-post* des batteries situé à l'aval de la chaîne de valeur, promet des gains substantiels susceptibles de maintenir le prix des batteries d'occasion à un niveau élevé.

4.1.2. Valorisation ex-post des batteries : la problématique du recyclage.

Il existe peu de raisons économiques de recycler les batteries au lithium-ion dans l'immédiat, car le lithium à batterie issu du processus de recyclage est plus coûteux que le lithium obtenu de sources directes (Frost&Sullivan, 2010). Ce phénomène est lié à la fraction réduite de carbonate de lithium contenue dans les batteries d'AE, de même qu'à l'inexistence d'une filière de recyclage à l'échelle industrielle, faute d'un volume critique de batteries à recycler. Une telle filière ne manquera pourtant pas d'émerger, au regard de contraintes et opportunités de natures technique et économique. D'une part, si le lithium est une ressource non renouvelable, il s'avère recyclable en totalité (ADEME, 2011.a). D'autre part, le recyclage du

lithium constitue un moyen de s'affranchir de la dépendance à l'importation d'une matière produite sur une zone géographique dont le caractère instable apparaît problématique.

Le marché du recyclage formera une part importante dans la chaîne de valeur des batteries d'accumulateurs, lorsque nombre de batteries issues d'AE intégreront une filière *ad hoc*. Dans ses projections, le cabinet Frost&Sullivan (2010) estime qu'une filière émergera d'ici à 2016 et envisage un chiffre d'affaires supérieur à 2 milliards de dollars en 2022, date à laquelle plus de 500.000 blocs de batteries devraient être recyclés. Une extrapolation valorise le recyclage des batteries à 4.000 euros l'unité. Semblablement au cas de la revente des batteries, la problématique du partage des fruits tirés du recyclage des batteries doit être investiguée. Notre position est semblable, en admettant que cette opportunité s'adresse aux propriétaires d'AE qui ne sont pas adossés à un opérateur de mobilité électrique.

En ce qui concerne la valorisation *ex-post* de l'AE et de sa batterie, une troisième modalité prend la forme commune de la vente de l'AE sur le marché de l'occasion. Cet aspect, peu analysé car malaisé à estimer, doit pourtant être intégré au calcul du coût de revient de l'AE.

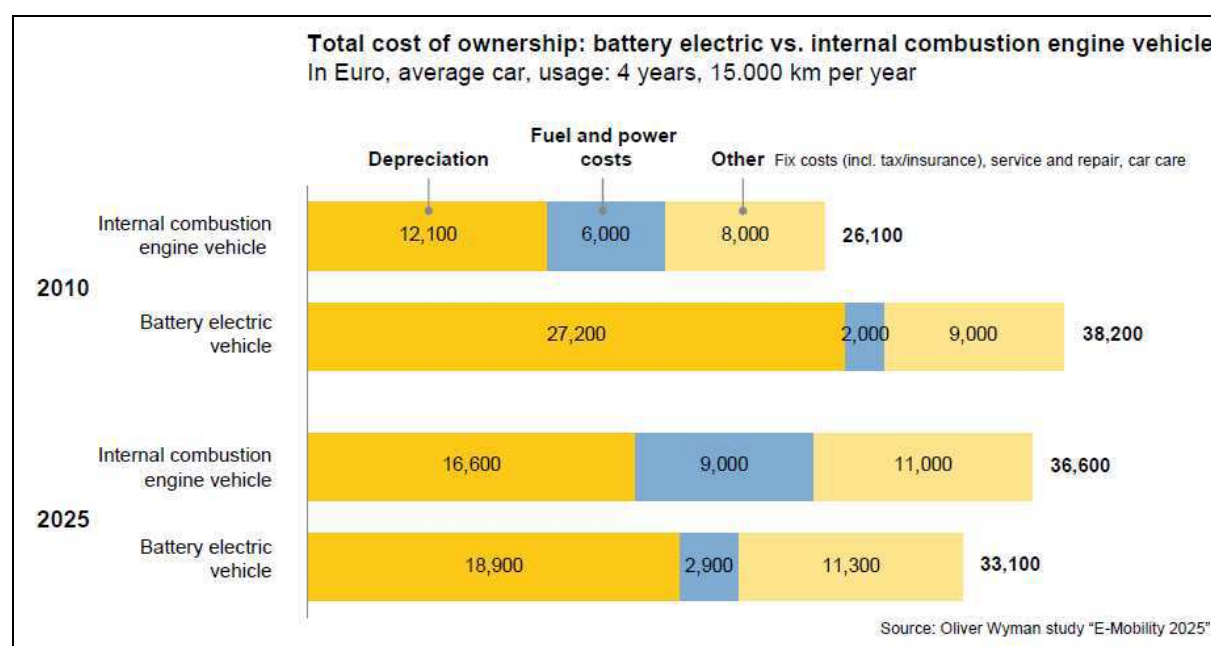
4.1.3. Valorisation *ex-post* de l'AE : La question du marché de l'occasion.

L'analyse de la valeur de revente en occasion de l'AE est indispensable au calcul de son coût de revient. D'une part, en effet, la valeur de revente est une composante importante, sinon essentielle, d'un coût total de détention (cf. **Figure 10** : Coût total de possession de véhicules thermique et électrique en France en 2012, p.119). D'autre part, l'appétence pour tout bien de consommation durable, tel que l'AE, est notamment liée à la possibilité de s'en départir à bon compte sur un marché de l'occasion, ce qui signifie qu'il doit exister une corrélation entre le

prix de revente escompté et la diffusion de l'AE. En vue d'avancer sur la question de sa valeur de revente, notre démarche consiste d'abord à interroger les travaux existants. Le champ est clairsemé, à l'exception d'une étude menée par le cabinet Oliver Wyman (2009).

Le résultat auquel aboutit cette étude quant à la dépréciation de l'AE (**Figure 11** : Total Cost of Ownership – Oliver Wyman) est sujet à réserves et une estimation plus fidèle de sa valeur de revente appelle plusieurs amendements. Outre une nette surévaluation des coûts fixes de l'AE par rapport à la situation dépeinte par les études citées plus avant, notre critique porte sur deux éléments. En premier lieu, la dépréciation de la valeur de l'AE est d'autant plus importante que l'étude d'Oliver Wyman surévalue son prix d'achat neuf, en faisant fi des subventions à l'achat et à l'usage, tandis qu'elles se multipliaient déjà au niveau mondial en 2009 (Michaux, 2010). En second lieu, cette étude sous-évalue la valeur de revente de l'AE par l'absence de prise en compte d'un phénomène sous-jacent dans la dépréciation du prix d'un actif physique.

Figure 11 : Total Cost of Ownership – Oliver Wyman :



Ce phénomène est une anticipation sur les coûts d'usage de l'actif³⁵. Il explique notamment en grande partie la cote favorable dont jouit l'automobile diesel en occasion relativement au modèle à essence en France. Or, de même qu'à maints égards un véhicule diesel est moins onéreux à l'usage qu'un équivalent à essence³⁶, nous avons vu que l'AE se montre peu dispendieux. Il n'y a pas lieu de penser que cette propriété puisse être favorable au seul véhicule diesel, *a fortiori* si l'on admet que le prix de vente de l'AE constitue le principal frein à sa diffusion en masse, sans oublier qu'il bénéficie d'un traitement fiscal favorable, comme la gratuité du stationnement et des péages dans de nombreux territoires en France. Afin de parvenir à une estimation plus fiable et argumentée de la valeur de revente de l'AE, notre démarche est de mesurer l'écart de coût d'usage entre le véhicule diesel et à essence et de comparer cet écart à leur cote respective en occasion, puis d'opérer un parallèle avec l'AE.

Pour mesurer l'écart de coût d'usage entre ces deux types de véhicules, on se réfère au mode de calcul qui parsème notre analyse, bien qu'il eût été possible de mobiliser les données de l'Automobile Club (ACA, 2011), une fois retraitées³⁷. Nous appliquons notre méthode à deux modèles pour s'assurer de la validité de l'assertion précédente. Outre la Renault Fluence essence 1.6 16V 110 Dynamique, à la consommation mixte de 6,7 l/100 kilomètres, nous jetons notre dévolu sur la Volkswagen Jetta, appartenant à la même catégorie. Afin de contrôler la comparabilité des cas et la justesse de l'analyse, nous sélectionnons des modèles identiques en termes de puissance et d'équipements. Pour la Jetta, il s'agit de la version

³⁵ Il est possible de rapprocher ce phénomène à l'un des principes cardinaux de l'économie financière. La valeur de cession d'un actif est, en effet, égale à la somme des flux de trésorerie (ou *cash flows*) futurs qu'il engendrera, c'est-à-dire la différence des encaissements (recettes) et des décaissements (dépenses).

³⁶ La différence de coûts d'usage entre un véhicule diesel et à essence provient essentiellement de la frugalité du moteur diesel et de la plus faible fiscalité pesant sur le Gasoil. En France, les automobiles diesels sont également privilégiées administrativement, notamment parce que les frais réels de remboursement kilométrique se basent sur la puissance fiscale des véhicules, laquelle est traditionnellement très inférieure pour les moteurs diesels.

³⁷ L'ACA évalue l'évolution annuelle des coûts de revient respectifs des véhicules diesels et à essence en France. Leur comparabilité bute toutefois sur une catégorie et sur une distance effectuée non homogènes. En 2011, la voiture à essence est une citadine de 6 chevaux fiscaux et 75 chevaux Din parcourant 9.022 kilomètres, alors que la voiture diesel est une compacte de 5 chevaux fiscaux et 90 chevaux Din, parcourant 15.476 kilomètres.

essence 1.2 TSI 105 et de la motorisation diesel 1.6 TDI 105, en finition Trendline et à la consommation mixte normalisée respective de 5,7 l/100 kilomètres et de 4,5 l/100 kilomètres.

Afin de calibrer nos hypothèses sur celles du cabinet Oliver Wyman, nous calculons le coût d'usage pour une durée de quatre ans et une distance de 15.000 kilomètres annuels (**Tableau 25** : Coûts d'usage kilométriques amortis sur 60.000 kilomètres, hors scénario). En ce qui concerne le coût kilométrique, le résultat est obtenu en multipliant la consommation mixte normalisée des modèles par le prix moyen de l'Essence et du Gasoil en France sur la période couvrant le second semestre 2011 et le premier semestre 2012. Le prix moyen de l'essence (SP95), toutes taxes comprises, ressort à 1,455 euro par litre et celui du diesel s'établit à 1,375 euro par litre. Nous estimons les coûts d'entretien similaires pour chacune des motorisations. En outre, si notre appréhension des coûts d'usage se montre partielle, en omettant notamment les coûts de stationnement et de péage, ces derniers s'avèrent modestes (ACA, 2011) et touchent identiquement les véhicules essence et diesel. Ainsi mesuré, le coût d'usage du véhicule à essence est 12,9% à 22,9% plus élevé que celui du véhicule diesel équivalent.

Tableau 25 : Coûts d'usage kilométriques amortis sur 60.000 kilomètres, hors scénario :

	Notes	Fluence essence	Fluence diesel	VW Jetta essence	VW Jetta diesel
Notes		Ve	VD	Ve	VD
Coût kilo. en essence	Ck _{es}	9,75cts/km		8,29cts/km	
Coût kilo. en gasoil	Ck _g		6,05cts/km		6,19cts/km
Coût d'entretien	CE	10,12cts/km	10,12cts/km	10,12cts/km	10,12cts/km

Evaluons désormais le différentiel d'écart entre le coût d'usage des motorisations essence et diesel et leurs cotes respectives en occasion. Au mois de décembre 2012, la cote ARGUS³⁸ de la Renault Fluence et de la Volkswagen Jetta à motorisation essence, plus-value kilométrique

³⁸ La cote « officielle » de l'ARGUS fait référence en France. Elle y est la seule cote reconnue par l'ensemble des acteurs du marché, tels que l'administration, le fisc, les douanes, les notaires, la justice, ou encore, les assurances.

comprise, au terme de quatre ans et 60.000 kilomètres, est respectivement de 8.550 euros et de 9.170 euros. Dans les mêmes conditions, les versions diesels s'échangent pour 10.949 euros et 10.604 euros, soit une différence de 15,6% à 21,9%. Bien que d'autres facteurs puissent s'ajouter, telle qu'une fiabilité supposée meilleure ou, de manière tautologique, une revente plus aisée, il existe donc une corrélation entre le coût d'usage anticipé et la cote en occasion.

Si l'AE, de par ses limites intrinsèques, ne peut être considérée comme un substitut parfait du véhicule thermique, ce qui limite la taille de son marché potentiel, il semble néanmoins peu concevable que sa structure de coûts, très favorable au coût d'usage, n'influe pas sur sa cote en occasion. Néanmoins faut-il distinguer les AE sans opérateur et les AE adossées à un opérateur de mobilité électrique car le découpage de la propriété de la batterie et de l'AE limite probablement le prix de revente de ce dernier. Au-delà de l'achat de l'AE, cette physionomie impose la signature d'un contrat de mise à disposition d'une batterie auprès d'un opérateur ou bien l'achat d'une batterie en seconde monte. Valider l'intuition suivant laquelle la structure des coûts de l'AE est favorable à sa cote en occasion est complexifié par le fait que les AE sont encore récents et rares sur le marché de l'occasion. Pour contourner cette difficulté, nous recourrons à une série de comparaisons destinées à confirmer ou à infirmer cette intuition.

Pour cela, notre démarche consiste à analyser le cas de la Nissan Leaf, dont la vente directe ne transite pas par un opérateur de mobilité, et le cas de la Renault Fluence, dont la batterie est toujours louée par un opérateur. Pour la première, nous comparons les prix de vente moyen en occasion d'un modèle 2012 à celui d'un panier de véhicules à essence et diesels au segment et aux prix neufs similaires³⁹ (**Annexe 22** : Nissan Leaf - Panier de véhicules, p.578 ; **Tableau 26** : Nissan Leaf - prix de vente moyen en occasion). Pour la seconde, nous comparons la

³⁹ Données tirées du premier site français de véhicules d'occasion (www.lacentrale.fr), consulté le 16/12/2012.

valeur moyenne en occasion de la Renault Fluence Z.E. modèle 2011 à celle de la version diesel dCi 110 Dynamique, le plus proche équivalent en puissance et en équipement (**Tableau 27** : Renault Fluence - prix de vente moyen en occasion par *powertrains*). Le raisonnement en moyenne permet d'aplanir les différences ténues en termes d'équipement ou de date de mise en circulation. Seule la plus ou moins-value kilométrique fait l'objet d'un retraitement⁴⁰.

Tableau 26 : Nissan Leaf - prix de vente moyen en occasion :

Versions	Panier « essence »	Panier « diesel »	Nissan Leaf
Valeur neuve (2011 + Bonus)			30.990 €
Nombre d'observations	25	206	14
Valeur neuve pondérée	30.242 €	30.463 €	30.990 €
Prix moyen en occasion	26.297 €	23.354 €	27.795 €
Kilométrage moyen	7.542 km	9.952 km	1.325 km
Prix moyen après retraitement	26.694 € ⁴¹	23.855 € ⁴¹	27.795 €
Décote moyenne / prix neuf	-11,73%	-21,69%	-10,31%

Tableau 27 : Renault Fluence - prix de vente moyen en occasion par *powertrains* :

Versions	Fluence dCi 110 Dynamique	Fluence dCi 110 EDC Dynamique	Fluence Z.E. Dynamique
Valeur neuve (2011 + Bonus)	23.250 €	24.450 €	21.900 €
Nombre d'observations	13	3	11
Valeur neuve pondérée	23.475 €		21.900 €
Prix moyen en occasion	13.705 €		18.335 €
Kilométrage moyen	26.610 km		3.945 km
Prix moyen après retraitement	14.497 € ⁴¹		18.335 €
Décote moyenne / prix neuf	-38,24%		-16,28%

⁴⁰ D'après les données de l'ARGUS, un kilométrage inférieur au standard théorique majore la cote de 0,25 % par tranche de 1000km. *A contrario*, un kilométrage excédentaire déprécie la cote de 0,5 % par tranche de 1000 km.

⁴¹ Pour ramener le kilométrage moyen des versions à essence et/ou diesels à celui des versions électriques, nous avons procédé aux calculs suivants : $26.297 * [(1,0025)^6]$, $23.354 * [(1,0025)^{8,5}]$ et $13.705 * [(1,0025)^{22,5}]$.

Les résultats que donne à voir cette rapide analyse corroborent notre intuition. La valeur de revente de l'AE est plus soutenue que celle de véhicules thermiques de prix neufs équivalents et semble ainsi capitaliser sur une structure de coûts favorable. Toutefois, notre échantillon en AE est limité, ce qui permet uniquement de valider une tendance. Par ailleurs, la valeur d'échange d'un bien est traditionnellement fixée par la confrontation d'offres et demandes, si bien que le recours au seul prix d'occasion est approximatif. Il est probable que certains véhicules trouveront preneurs seulement à un prix minoré, même si cette remarque vaut pour tous les véhicules de notre sélection, *a fortiori* lorsque l'offre est abondante. Enfin, peut-être aurait-il fallu adopter une règle de pondération nuanciant la plus value kilométrique, car il semble que les premiers kilomètres entraînent une dépréciation de la valeur d'occasion moins que proportionnelle. Ajouté à l'abondance de l'offre, ce phénomène est probablement à l'origine de la décote plus sévère de ces véhicules diesels par rapport aux modèles à essence.

Au-delà des précautions d'usage, quelques tendances peuvent être soulignées. Premièrement, la dépréciation de la valeur de l'AE se montre ténue et inférieure à celle des véhicules diesels et essences aux prix neufs analogues. Deuxièmement, une AE vendue précocement en occasion parcourt, en moyenne, une distance moindre que les véhicules plus conventionnels. Son autonomie limitée constitue vraisemblablement une partie de l'explication, mais ce constat n'en reste pas moins paradoxal si l'on stipule que la cote favorable de l'AE en occasion est liée à la modicité de son coût d'usage. En outre, un faible kilométrage peut signifier que la motivation des acquéreurs d'AE qui se séparent de leur bien rapidement relève d'une logique militante plutôt qu'économique. Troisièmement et contre toute attente, le découpage de la propriété de la batterie et de l'AE ne semble pas limiter la valeur de revente des AE. Bien sûr, un échantillon plus large serait nécessaire pour confirmer ces premières tendances.

La synthèse de ces observations empiriques tend à valider l'existence d'une corrélation entre les coûts d'usage et la valeur de revente d'un bien durable, de même que la bonne tenue de la valeur de revente de l'AE. Afin d'estimer cette dernière, nous appliquons un coefficient de majoration ($C_{\max_{km}}$) à la cote en occasion d'un véhicule diesel équivalent. Ce coefficient est basé sur une extrapolation du différentiel de coût d'usage et de valeur de revente entre un véhicule diesel et essence appliquée au cas de l'AE. A partir des hypothèses exposées précédemment, les coûts d'usage de l'AE apparaissent près de deux fois moindres que ceux du véhicule diesel. Pour tenir compte de la recrudescence des AE sur le marché de l'occasion et de son statut de substitut imparfait au véhicule thermique, nous limitons le coefficient de majoration à 22% du différentiel de coût d'usage. Ce coefficient est dégressif de deux points de pourcentage par tranche de 30.000 kilomètres pour refléter le moindre attrait du faible coût d'usage de l'AE à mesure que les distances s'allongent. Par exemple, la valeur estimée de revente en occasion d'une AE de quatre ans et 60.000 kilomètres, s'établie à 13.770 euros (**Tableau 28** : Valeur d'occasion d'une AE de 4 ans et 60.000 kilomètres - Estimation), soit une valeur de 12.805 euros ($VrVE_A$), compte tenu d'un taux d'actualisation de 1,8% par an.

Tableau 28 : Valeur d'occasion d'une AE de 4 ans et 60.000 kilomètres - Estimation :

Kilométrage / Année	Coûts d'usage		Différentiel de coûts (en %)	Cote VD (Argus)	Coef. de majoration (en %)	Valeur VE	Valeur actualisée
	VD	VE					
4 ans – 60.000 km	17,69€	7,73€	+128,85	10.949€	+25,77	13.770€	12.805€

$$VrVE_A = [[VrVD * [(Ck_e + CE_e) / (Ck_g + CEVD)]] * C_{\max_{km}}] * (1 - T_A)^{NbA} \quad (11)$$

4.2. Valorisation concomitante de la capacité de stockage de la batterie.

Jusqu'ici, nous avons fait l'inventaire des modalités de valorisation *ex-post* de l'AE et de ses batteries. Nous avons vu que cette opportunité se double d'une valorisation concomitante, liée à la faculté d'une batterie de pourvoir à la fois en électricité l'AE et de stocker de l'énergie pour le réseau électrique. De nombreux travaux de recherche ont investi ce champ, souvent en se focalisant sur des problématiques telle que la stabilisation du réseau électrique (Timothy, 2004) ou du lissage de la pointe (Hartmann et Ozdemir, 2011). D'autres publications ont mis en évidence (Kurani et al., 1994 ; Sperling, 1997) ou cherché à estimer (Kempton et Letendre, 1997) le revenu qu'il est possible d'engendrer à partir de la capacité de stockage des batteries de l'AE. Nous mobilisons cette littérature pour initier le lecteur au marché de l'électricité et, par la suite, pour évaluer l'opportunité technico-économique de recourir aux AE pour stocker momentanément de l'électricité et la réinjecter opportunément dans le réseau électrique⁴².

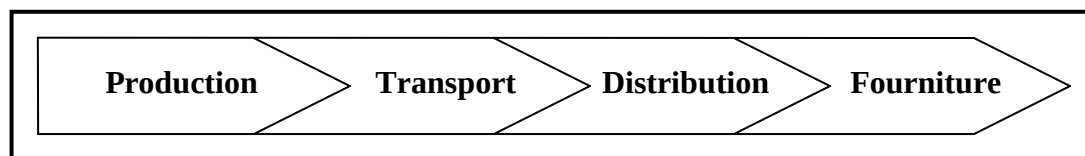
4.2.1. Marchés de l'électricité – une introduction.

Afin d'estimer le revenu qu'il est possible de tirer de la capacité de stockage des batteries de l'AE, il est important de comprendre quelles sont les règles de fonctionnement du marché de l'électricité. Pour cela, nous détaillons sa physionomie, en débutant par les composantes de sa chaîne de valeur (**Figure 12** : La chaîne de valeur du marché de l'électricité). Fruit de la politique antitrust des années 1980 en Europe, chaque chaînon compose un marché à la nature propre et sur lequel des acteurs distincts opèrent. La production et la fourniture d'électricité

⁴² Afin de stocker et réinjecter de l'électricité, une AE requiert une connexion au réseau d'alimentation électrique pour le transfert de l'énergie électrique, de même qu'une interface de communication couplée à un compteur embarqué pour informer l'opérateur du réseau électrique sur le volume d'énergie accessible ou souhaitée.

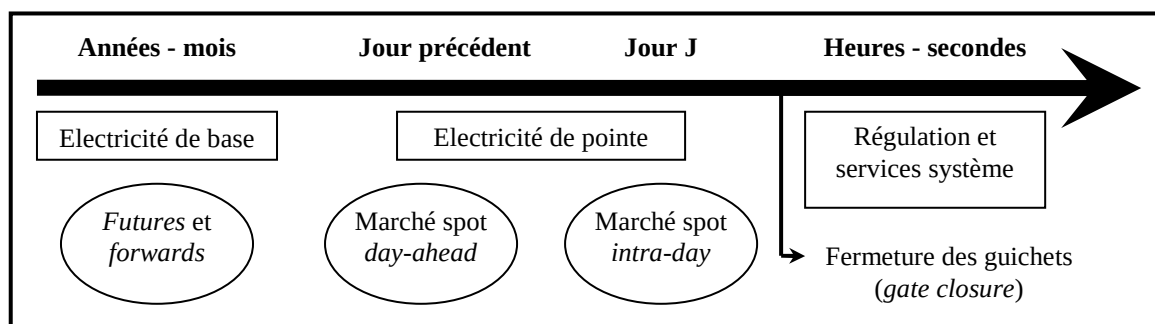
représentent des marchés concurrentiels, tandis que le transport et la distribution d'électricité, respectivement par les réseaux à hautes et à basses tensions, sont des monopoles naturels.

Figure 12 : La chaîne de valeur du marché de l'électricité :



La caractéristique essentielle des marchés imbriqués composant le marché de l'électricité repose sur le fait qu'ils s'organisent suivant différents pas de temps (**Figure 13** : Le marché de l'électricité : imbrications et temporalités). On distingue ainsi le marché de l'électricité de base, de l'électricité de pointe et les services système, lesquels se subdivisent en capacités potentielles et en marché de la régulation de fréquence. Tous sont spécifiques par leurs mode de contrôle, temps de réponse, durée de mise à disposition de l'électricité, contrats noués et par les prix pratiqués. L'AE, qui se singularise par une capacité de stockage limitée, une réponse instantanée et un coût de mobilisation minime, l'investissement initial pesant sur le détenteur de l'AE, se révèle adapté ou non aux propriétés des marchés identifiés.

Figure 13 : Le marché de l'électricité : imbrications et temporalités :



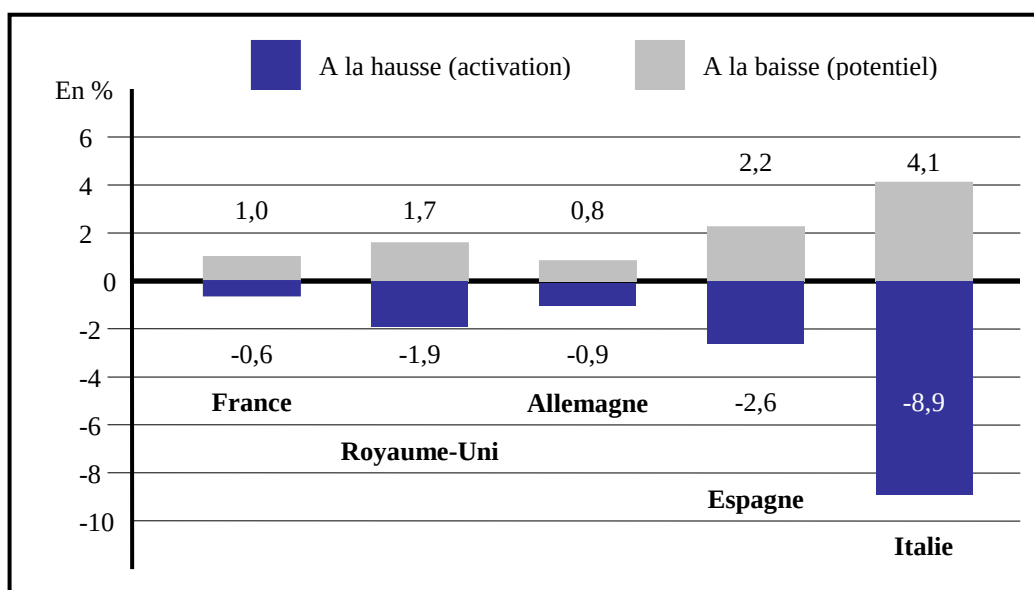
Pour le marché de l'électricité de base, qui correspond à un socle de puissance appelée, issu du parc nucléaire ou de centrales à charbon via des contrats de long terme, l'AE n'est pas approprié (Kempton et Letendre, 1997). Pour le marché de l'électricité de pointe, qui peut être

activée à tout moment, l'AE est adapté à condition que l'électricité soit fournie par une flotte d'AE mobilisés séquentiellement pour contourner la problématique de la faible quantité individuelle stockée (Kempton et Kubo, 2000). Les services système prennent la forme de capacités additionnelles disponibles instantanément et rémunérées pour leur potentiel de puissance, indépendamment de leur activation. Si la puissance est appelée, un paiement complémentaire intervient. On parle également de services système pour le marché de la régulation de fréquence automatisée qui veille à la sûreté du réseau électrique. A tout moment, la fréquence – fixée à 50 Hertz en Europe – doit, en effet, être constante en tout point du réseau pour éviter un *black-out*, ce qui nécessite une réserve de puissance.

Le marché des services système est particulièrement favorable à l'AE car ce dernier constitue une réserve de puissance par le biais de son seul raccordement au réseau, mais également pour l'attrait financier d'échanges d'électricité dans un temps très court et sur de petits volumes destinés à épouser les variations de production et de consommation à chaque instant. Les services système comptent pour 5 à 10% des montants échangés sur le marché de l'électricité (Kempton et Tomic, 2005), avec des différences sensibles suivant les pays (**Figure 14** : Electricité activée au titre des services système en 2010 en Europe). En France, la base nucléaire de l'électricité assure une grande sûreté du réseau et « absorbe » l'intermittence des EnR, de sorte que sur les 150 TWh⁴³ d'électricité qui y ont été échangés en 2010 sur les marchés de gros, les services système ont représenté 6 TWh, soit 4%.

⁴³ Pour rappel, 1 TWh = 1.000 GWh = 10⁶ MWh = 10⁹ kWh. Ici, 11 GWh équivalent à 0.011TWh.

Figure 14 : Electricité activée au titre des services système en 2010 en Europe :

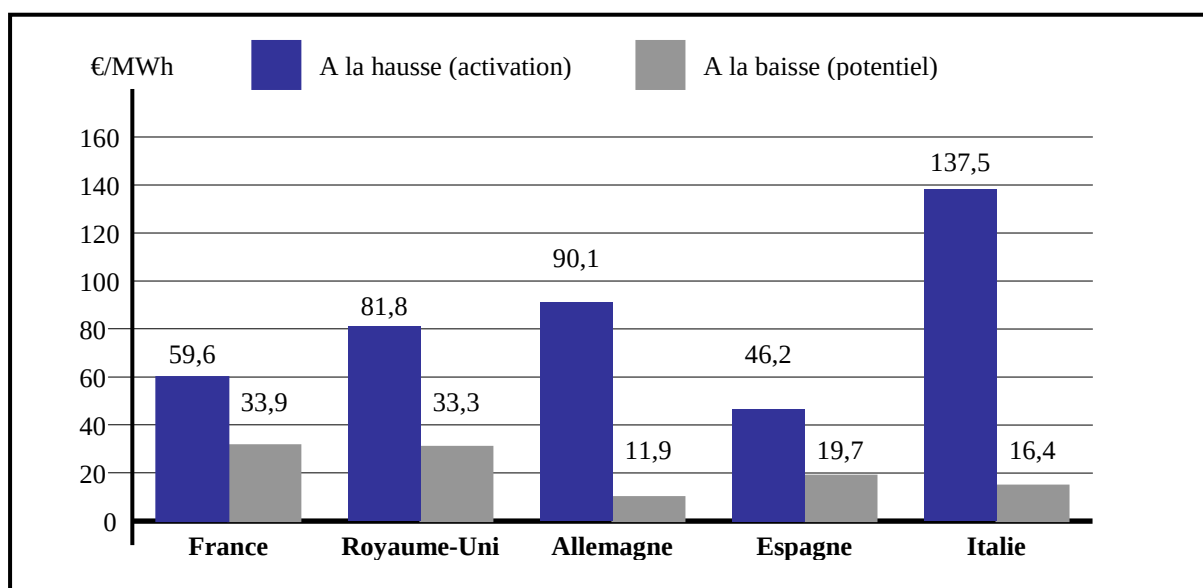


Source : ENTSO-E (2011), p.17

En vue d'évaluer l'opportunité de stocker de l'électricité par l'AE, il reste à croiser la problématique de la demande pour le stockage à celle des offres alternatives. Si le marché des batteries stationnaires, subordonné à l'apparition de batteries d'AE d'occasion, les stations de Transfert d'Energie par Pompage (STEP)⁴⁴ composent déjà la quasi-totalité des capacités de stockage stationnaire actuelles. Néanmoins, la rareté des nouveaux sites capables d'accueillir ces stations hydrauliques, associée à la diffusion des EnR intermittentes, tend à limiter leur rôle à l'avenir. Les centrales électriques se placent également en concurrentes, dans le sens où une portion de leurs capacités doit souvent être réservée pour la provision des services systèmes. En France, les producteurs de plus de 120 MW d'électricité doivent, par exemple, pouvoir fournir 4,5 % de leurs capacités nominales, dans un délai court de 30 à 800 secondes. Les contraintes et opportunités spécifiques aux territoires, à un niveau national ou régional, sur une dimension géographique ou économique, induisent ainsi l'ampleur des opportunités d'affaires (**Figure 15** : Prix moyen de l'électricité activée au titre des services systèmes).

⁴⁴ Les STEP convertissent de l'énergie électrique en énergie potentielle. Pour stocker de l'électricité, de l'eau est pompée depuis un réservoir bas vers un réservoir le surplombant, et vice-versa pour déstocker l'électricité.

Figure 15 : Prix moyen de l'électricité activée au titre des services systèmes :



Source: ENTSO-E (2011), p.17

4.2.2. Stockage d'électricité par véhicules électriques : vers quels revenus ?

Parmi la somme des travaux de recherche ayant traité la question du stockage d'électricité via l'AE, relativement peu ont entrepris d'estimer le revenu qu'il est possible d'en tirer. Nous procédons à un survol de la littérature ordonné en deux temps. En premier lieu, on définit un protocole de calcul visant à approximer les recettes et coûts associés au stockage d'électricité par AE. En second lieu, nous exposons quelques résultats prélevés dans la littérature.

Pour converger vers une valorisation économique de la capacité de stockage de l'AE, il est nécessaire de prendre en considération un certain nombre d'éléments contingents relatifs aux recettes et aux coûts. Kempton et Tomic (2005) identifient trois facteurs. Il s'agit, pour une part, de la capacité de réinjection en ligne du courant par les réseaux électriques et de la capacité effective de stockage des batteries d'AE, chacun d'eux constituant un goulet, dont le

plus étroit s'impose à l'autre et dicte la capacité de stockage agrégée du parc d'AE. Il s'agit, d'autre part, des coûts d'usage des AE et des réseaux électriques dits « intelligents ».

La capacité de transport en ligne du courant des réseaux électriques s'obtient en multipliant le voltage à l'ampérage d'une ligne électrique. En France, la prise monophasée ordinaire des réseaux domestiques et commerciaux est alimentée en courant continu de 230 volts et de 16 ampères, renvoyant à une puissance de réinjection maximale en ligne de 3,7 kW. Notons que si des prises électriques triphasées – performantes et accessibles au grand public – promettent une puissance de 25,2 kW, elles sont onéreuses et resteront probablement assez rares.

La capacité effective de stockage des AE renvoie tant à la capacité de stockage agrégée d'un parc d'AE, qu'à la période de temps durant laquelle les AE sont vraiment disposés à stocker de l'électricité. La capacité de stockage agrégée des AE s'obtient en croisant le nombre d'AE à la capacité de stockage moyenne de leur batterie⁴⁵. En France, si l'on accepte un chiffre de 500.000 AE en 2018 et une capacité de stockage accessible moyenne de 22 kWh, un parc d'AE serait capable de stocker 11 GWh d'électricité sur une plage de temps donnée. Ramenée aux 6 TWh annuels des besoins en services système, une telle flotte d'AE produirait un volume global d'électricité annuel, d'un ordre de grandeur semblable (voir Kempton et Dhanju (2006) pour une extension à onze pays de l'OCDE). Quant à la période de temps durant laquelle l'AE est effectivement en situation de stocker et de réinjecter l'électricité, les analyses précédentes évoquent des taux de disponibilité de 80% à 90%. Une estimation plus rigoureuse analyserait les comportements de déplacement (Hartmann et Ozdemir, 2011), les stratégies de maximisation des temps de recharge par les usagers et les stratégies de maximisation des rémunérations par les opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges.

⁴⁵ Il convient de prendre en compte l'ensemble des AE dont la batterie peut servir de support de stockage, tels que les véhicules purement électriques et les véhicules à hybridation lourde (*Plug-in* ou *range extender*), dont les batteries sont plus ou moins volumineuses et performantes en termes de stockage.

Les coûts de production ou de recours aux AE et aux *smart grids* prennent en considération le coût à l'achat de l'électricité qui sera ensuite réinjectée dans le réseau, les coûts additionnels de mise en conformité des AE et du réseau électrique, de même que le coût de dégradation des batteries et les pertes associées à la conversion de l'électricité. Rappelons, en effet, qu'une batterie stocke l'électricité sous forme chimique, nécessitant une conversion en phase d'entrée et de sortie. Les coûts additionnels relatifs à l'adaptation de l'électronique de puissance des AE et du réseau électrique n'excèdent pas quelques dizaines d'euros par véhicule et par an (Tomic et Kempton, 2007), si bien qu'au total, le coût de recours à l'AE est évalué à près de 35 centimes d'euros par kilowattheure (Ibid.). Cela représente près de sept fois le coût réel de la production d'électricité d'origine nucléaire en France (Cour des comptes, 2012).

La sommation des recettes et des coûts potentiels permet d'évaluer le montant des revenus nets tirés des AE. Pour Kempton et Tomic (2005), les revenus nets provenant d'une AE dotée d'une batterie de 21,9 kWh, en 2003 dans l'Etat de Californie est de l'ordre de 2554 dollars par an, si la capacité de réinjection dans le réseau est de 15 kW. Elle est de 1731 dollars, si la capacité de réinjection est de 10 kW. Tomic et Kempton (2007), pour leur part, envisagent le cas réel d'une flotte de 252 AE dotés d'une batterie de 21,9 kWh et au taux de disponibilité de 71%. Sur la base d'un calcul portant sur la période 2000-2003, dans l'Etat de Californie, le revenu annuel net d'une telle flotte d'AE varie de 358.000 à 2.102.000 dollars, si la capacité de réinjection est de 15 kW. Elle varie de 144.800 à 912.000 dollars, si la capacité de réinjection dans le réseau est de 6,6 kW, soit 575 à 3.620 dollars par AE, suivant les années.

Au-delà d'une validité spatialement et temporellement située, ce qui influence amplement l'opportunité de recourir à l'AE comme interface de stockage (**Tableau 29** : Revenus issus du stockage par flotte d'AE – quelques extrapolations), les estimations précédentes méritent

d’être nuancées à l’aune de deux éléments⁴⁶. Premièrement, la puissance de réinjection dans le réseau, même minorée à 6,6 kW, est supérieure aux capacités des installations domestiques des pays de l’OCDE, limitant d’autant les revenus nets potentiels. Secondement, ces études doivent être maniées avec prudence car elles peuvent laisser penser que ce qui vrai avec une AE l’est aussi avec une infinité d’AE. Or, certains des marchés analysés sont saturés avec quelques milliers d’AE seulement. C’est notamment pour cette raison que l’émergence et la diffusion des EnR intermittentes et de l’AE se combinent si efficacement.

Tableau 29 : Revenus issus du stockage par flotte d’AE – quelques extrapolations :

En dollars US		Californie	New York	Texas	Pennsylvanie, New Jersey & Maryland
6,6 kW	2000	584.900	81.000	N.C	186.000
	2001	912.000	-11.500	20.200	172.000
	2002	144.800	59.000	-5.000	155.000
	2003	277.600	162.000	174.000	211.000
15 kW	2000	1.358.000	258.000	N.C	485.000
	2001	2.102.000	-3.000	74.000	462.000
	2002	358.000	175.000	3.000	368.000
	2003	659.700	746.000	647.000	771.000

Source : Tomic et Kempton (2007), p.467

Bien qu’il soit possible d’adapter ce mode de calcul complexe au cas français, nous procédons de manière légèrement plus fruste. Admettons qu’en 2015, 150.000 AE circuleront en France et qu’à partir de leurs batteries de 22 kW en moyenne (CMsB), ils pourront stocker et réinjecter 3,3 GWh d’électricité sur une plage de temps donnée. Avec un cycle de charge et décharge d’une durée de 16 heures (DcC), conditionné par les 3,7 kW de puissance de réinjection maximale en ligne des réseaux domestiques en France, et un taux de disponibilité

⁴⁶ Ces deux remarques sont à mettre au crédit d’Arnaud MORA, fondateur et PdG de Freshmile, que je remercie chaleureusement pour ses conseils et commentaires lors de la préparation d’une communication commune aux Rencontres Internationales Mobilis 2011 (15-16 Novembre, Belfort), intitulée « Enseignements sur les modèles d’affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges ».

correspondant de 66,6% par jour (TdQ), la capacité de stockage agrégée et annualisée d'une telle flotte d'AE s'établira à 1,2 TWh. En faisant l'hypothèse que les puissances appelées au titre des services système seront, en 2015, semblables à l'année 2010 et que les AE se focaliseront sur la puissance activée à la hausse, la mieux rémunérée (**Figure 14**, Prix moyen de l'électricité activée au titre des services systèmes, p.138 - PM_{eAss}), on peut évaluer le revenu global généré à 71.788.200 euros. A partir d'un prix moyen de l'électricité de gros (PM_{eG}) en France en 2010 de 46,52 euros le MWh (Source : OIE, 2013), les revenus nets (RnSB) s'établissent, pour leur part, à 15.754.860 euros, soit 105 euros par AE.

$$RnSB = [(150.000 * CMsB) * [365 * [DcC * (1 - TdQ)]] * [(PM_{eAss} - PM_{eG})]] / 150.000 \quad (12)$$

Ce chiffre modéré n'est qu'un reflet très imparfait des gains attendus du stockage d'électricité par AE. D'une part, il est délicat de se reposer sur un prix moyen annualisé de l'électricité activée au titre des services système. En effet, cette démarche lisse les revenus, alors même que le métier des opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges consiste à maximiser la différence entre le prix de l'électricité à l'achat et à la vente. Les opportunités sont fréquentes (**Annexe 23** : Prix spot de l'électricité en France – 2011-2012, p.579). En outre, un tel raisonnement fait fi du système des prix, alors même que notre démarche est de comparer une demande et une offre d'électricité. Or, à mesure que des AE réinjectent de l'électricité dans le réseau, ils limitent les besoins en services système et diminuent d'autant le prix moyen de l'électricité activée au titre des services système. D'autre part, nous avons fait l'hypothèse que la situation de 2015 serait semblable à celle de 2010, malgré l'évidente diffusion des EnR intermittentes, gourmandes en services système. Il est non moins vrai que, de ce point de vue, la base nucléaire de l'énergie française contrariera, à long terme, ce type de modèle d'affaires.

Devant la perfectibilité de cette estimation, mais également parce que l’horizon temporel de mise en œuvre généralisée du principe de stockage d’électricité par AE ne se superpose pas à la contemporanéité de notre analyse, nous ne l’intégrons pas dans notre évaluation du coût de revient de l’AE. Si certains industriels capitalisent déjà sur ce principe⁴⁷, ces opportunités d’affaires restent, en effet, conditionnées à la généralisation des « compteurs intelligents », qui identifient et détaillent les sources de consommation énergétique des foyers, entreprises et sites industriels, et les transmettent au gestionnaire du réseau électrique. En France, le projet « Linky » prévoit une campagne d’équipement s’étalant jusqu’en 2021.

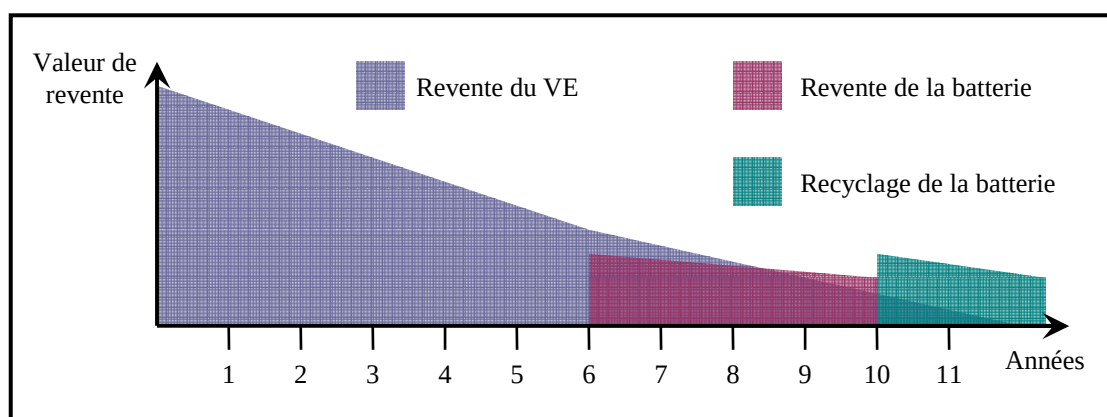
4.3. Valorisation de l’AE et de sa batterie : logique d’articulation et estimation du coût total de détention de l’AE.

Jusqu’ici, nous avons fait l’inventaire des modalités de valorisation concomitante et *ex-post* de l’AE et de ses batteries. Dans la mesure où les gains liés à la valorisation concomitante s’avèrent difficiles à quantifier, nous nous concentrons sur la valorisation *ex-post*, c’est-à-dire la possibilité d’allonger le cycle de vie de l’AE ou de sa batterie. La valorisation *ex-post* prend trois formes alternatives. Il s’agit de la revente de l’AE et de la batterie ou encore du recyclage de sa batterie. Afin d’intégrer opportunément ces sources de recettes dans le coût de revient de l’AE, nous devons les ordonner à travers deux séries de questionnements. En premier lieu, il convient de distinguer la nature substituable ou, au contraire, complémentaire des modalités de valorisation. En second lieu, il s’agit de repérer quels sont les bénéficiaires des gains.

⁴⁷ L’opérateur de mobilité Freshmile est à l’initiative du projet Alsace Auto 2.0, dont l’objectif est de démontrer la validité technique et économique d’une approche dans laquelle les utilisateurs payent un forfait mensuel pour l’utilisation d’une AE auprès d’un opérateur de mobilité. Ce dernier exploite la flotte et gère à distance et en temps réel les cycles de charge des batteries. Entre Janvier 2013 et Décembre 2014, Freshmile opère une flotte de cinquante AE et un réseau d’une centaine de points de charge déployés en Alsace.

La vente de l'AE, de sa batterie et le recyclage de la batterie sont des modalités de valorisation qui ne peuvent – *a priori* – se cumuler pour un propriétaire initial. Elles sont substituables du point de vue de ce dernier, bien qu'une même batterie puisse connaître plusieurs états au cours de sa vie. Les choix effectués par le propriétaire d'une AE sont liés aux gains potentiels tirés de chaque modalité, qui évoluent dans le temps (**Figure 16** : Modalités de valorisation de l'AE et de sa batterie dans le temps). D'après nos estimations, la vente de l'AE est la solution la plus rentable à court terme. A moyen terme, la revente de la batterie se montre avantageuse, de sorte que le prix « plancher » de l'AE se confond, *in fine*, avec celui de sa batterie. A long terme, l'hypothèse de la revente de la batterie n'apparaît plus réaliste en raison de l'incertitude quant à sa capacité de recharge et sa fiabilité, et son recyclage devient l'hypothèse privilégiée. Ajoutons que la dimension temporelle n'est pas l'unique composante de la valeur de revente et qu'il serait nécessaire de la moduler également par rapport à la distance parcourue.

Figure 16 : Modalités de valorisation de l'AE et de sa batterie dans le temps :



Source : Représentation de l'auteur

Cette présentation schématisée s'enrichit en étant croisée avec la nature des bénéficiaires, lesquels sont des usagers ou bien les opérateurs de mobilité, qui louent les batteries. Pour les usagers particuliers ou professionnels, c'est-à-dire l'AE sans opérateur dans notre typologie, les choix correspondent à la **Figure 16**. Pour les opérateurs de mobilité, la problématique et

les opportunités sont distinctes. Dans la mesure où ils ne sont propriétaires que des batteries qu'ils louent, les choix s'offrant à eux à la fin de la période contractuelle sont de proposer un nouveau contrat de location, de vendre la batterie à un propriétaire d'AE, à un énergéticien en guise de stockage stationnaire d'électricité, ou encore à un industriel qui la recyclera. Le choix entre la revente et la prolongation de la location des batteries met en balance les coûts et gains d'opportunité. Si le gain actualisé de la location n'est pas au moins égal à la valeur de revente de la batterie, l'opérateur actionne ce dernier levier. Partant du principe que les opérateurs de mobilité ne transfèrent pas directement les fruits de la revente des batteries à leurs clients, nous n'intégrons pas ces gains aux calculs du coût de détention total de l'AE.

Afin de calculer un coût total de détention de l'AE différencié en fonction des modalités de commercialisation, il nous faut tenir compte des effets induits par le jeu de la combinatoire entre les scénarios et hypothèses jalonnant cette analyse. Par exemple, la distance parcourue ou l'usage de batteries pour le stockage d'électricité influent négativement sur sa valeur de revente. Egalement, la valeur de revente de l'AE s'appuie notamment sur les coûts de revient kilométriques de l'AE et du véhicule diesel, lesquels varient au gré des scénarios appliqués.

En vue d'opérer un choix équilibré entre l'étude réduite à des cas spécifiques et l'exhaustivité des paramètres envisageables, en termes d'années de détention et de distances parcourues, nous analysons un spectre de distances compris entre 30.000 et 210.000 kilomètres, mais axons notre propos sur le cas d'une détention de six ans. Cette durée correspond peu ou prou à la durée moyenne de détention des automobiles en France, au cycle de vie de la technologie de la chaîne électrique, mais également au moment où s'éteignent les formules de location de batterie chez Renault, ainsi qu'à l'horizon temporel de nos scénarios. Nous détaillons nos

calculs pour la distance de 75.000 kilomètres, située au croisement entre la durée de six ans et le kilométrage annuel moyen d'un véhicule en France, de 12.500 kilomètres (BIPE).

Nous recourons, à nouveau, au principe du séquençage kilométrique de la période (**Tableau 17** : Séquençage kilométrique de la période de six années, p.114), grâce auquel chaque distance annuelle constitue un gradient permettant d'appliquer des renchérissements et des réductions de coûts « temporellement situés » sur les variables du modèle, de même qu'un principe d'optimisation du choix des forfaits de location des batteries disponibles, en glissant parfois d'une formule d'abonnement à une autre, en respectant les engagements contractuels.

Comme nous l'avons vu précédemment, les gains tirés de la revente de l'AE au terme de six années sont souvent plus conséquents que la revente de la seule batterie et, *a fortiori*, que le recyclage de cette dernière. Afin d'estimer le prix de revente actualisé de l'AE à l'échéance des six années, nous extrapolons nos données de la cote en occasion ARGUS pour la Renault Mégane 4 portes 1,5 dCi 105 eco² « Dynamique » de deuxième génération, dont la Renault Fluence 1,5 dCi 110 eco² « Black Edition » est la remplaçante directe (**Tableau 30** : Valeur de revente estimée d'une AE âgé de six ans par scénarios). Le coût d'usage comprend les coûts d'entretien et le coût kilométrique en Gasoil. Ce dernier s'obtient en croisant le prix moyen du Gasoil pondéré par nos scénarios, entre le second semestre 2011 et le premier semestre 2012, à la consommation mixte normalisée du modèle diesel de référence (**Annexe 24** : Coût d'usage kilométrique amorti sur 6 ans et 60.000 kilomètres, par scénarios, p.579).

Tableau 30 : Valeur de revente estimée d'une AE âgé de six ans par scénarios :

Scénario Or noir Kilométrage	Coûts d'usage		Différentiel de coûts (en %)	Cote VD (Argus)	Coef. de majoration (en %)	Valeur actualisée du VE
	VD	VE				
30.000 km	27,37€	8,22€	+232,97	8.794€	+51,25	11.927€
60.000 km	27,37€	8,22€	+232,97	8.168€	+46,59	10.737€
75.000 km	27,37€	8,22€	+232,97	7.886€	+44,26	10.202€
90.000 km	27,37€	8,22€	+232,97	7.440€	+41,93	9.470€
120.000 km	29,38€	8,56€	+243,22	6.241€	+38,91	7.774€
150.000 km	31,69€	8,91€	+255,67	5.029€	+31,59	5.935€
180.000 km	34,34€	9,28€	+270,04	3.842€	+32,40	4.562€
210.000 km	37,47€	9,66€	+287,89	2.674€	+28,79	3.088€

Scénario Vert Kilométrage	Coûts d'usage		Différentiel de coûts (en %)	Cote VD (Argus)	Coef. de majoration (en %)	Valeur actualisée du VE
	VD	VE				
30.000 km	18,31€	8,51€	+115,16	8.794€	+25,33	9.883€
60.000 km	18,31€	8,51€	+115,16	8.168€	+23,12	9.019€
75.000 km	18,31€	8,51€	+115,16	7.886€	+21,88	8.619€
90.000 km	18,31€	8,51€	+115,16	7.440€	+20,73	8.055€
120.000 km	20,32€	8,85€	+129,60	6.241€	+20,74	6.758€
150.000 km	22,63€	9,20€	+145,98	5.029€	+20,44	5.431€
180.000 km	25,28€	9,57€	+164,16	3.842€	+19,70	4.124€
210.000 km	28,41€	9,95€	+185,53	2.674€	+18,55	2.843€

A partir d'hypothèses et paramètres sélectionnés, la valeur de revente actualisée estimée de l'AE se confond avec celle de sa batterie lorsque la distance parcourue par le véhicule s'élève à plus de 200.000 kilomètres, moment auquel il devient avantageux de vendre cette dernière. En effet, la valeur de revente de l'AE ressort respectivement à 3.088 euros et à 2.843 euros pour les scénarios « Or noir » et « Vert », tandis que la valeur de revente actualisée estimée de sa batterie se situe à 3.230 euros, pour une distance parcourue de 210.000 kilomètres. C'est précisément la valeur actualisée de l'AE ou de sa batterie que l'on défalque au coût initial de l'AE, en fonction des modalités de commercialisation (**Tableau 31** : Coût kilométrique total

de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Or noir » ; **Tableau 32** : Coût kilométrique total de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Vert »).

$$Ck_{scena}Td_{Dkm}(VE) = (8) + (10) \text{ ou } (11) = [(PA_{dfc} + FlB + FaI) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] + RP * [(A_{VE} * CsB) * (CM_e * TcA_e)] + Cat * [(Cmin * CEk_{VT}) * (Cmax^{D_{km}})] + [[(CM_{kWh} * CsB + Mp) * Ct] * DCsB] * (1 - T_A)^{Na} \quad (13)$$

$$Ck_{scena}Td_{Dkm}(VD) = (9) + VrVD_A = [(PA_{dfc} + FlB + FaI) / D_{km} + D_{km} * S_{km}] + (CoM_{vd}) * (CM_g * TcA_g) + Cat * [(Cmin * CEk_{VT}) * (Cmax^{D_{km}})] + VrVD_A \quad (14)$$

Tableau 31 : Coût kilométrique total de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Or noir » :

	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.820 €
Prix d'achat défalqué de la valeur de revente	PA _{dvr}	23.098 €	9.698 €	16.934 €
Forfait location batterie	FlB		96€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	30,80cts/km	22,15cts/km	22,58cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,53cts/km		
Coût kilométrique gasoil	Ck _g			13,99cts/km
Coût d'entretien	CE	6,69cts/km		13,38cts/km
Coût total de détention amorti sur 90.000km	Ck _{ON} Td _{90K}	39,02cts/km	30,37cts/km	49,95cts/km

Tableau 32 : Coût kilométrique total de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Vert » :

	Notes	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (Renault Fluence)
Notes		VE _{SO}	VE _R	VD
Prix d'achat	PA	40.300 €	26.900 €	24.820 €
Prix d'achat déduction fiscale comprise	PA _{dfc}	33.300 €	19.900 €	24.820 €
Prix d'achat défalqué de la valeur de revente	PA _{dvr}	23.098 €	9.698 €	16.934 €
Forfait location batterie	FIB		96€/mois	
Coût kilométrique hors énergie/entretien	Ck _{hee}	30,80cts/km	22,15cts/km	22,58cts/km
Coût kilo. en électricité	Ck _e	1,82cts/km		
Coût kilométrique gasoil	Ck _g			4,93cts/km
Coût d'entretien	CE	6,69cts/km		13,38cts/km
Coût total de détention amorti sur 90.000km	Ck _V Td _{90K}	39,31cts/km	30,66cts/km	40,89cts/km

En procédant de même pour des kilométrages allant de 30.000 à 210.000 kilomètres (**Annexe 25** : Tableau d'amortissement du coût total de détention, par scénarios, p.580), nous pouvons représenter les courbes relatives au coût total de détention de l'AE en fonction des modalités alternatives d'achat (**Figure 17** : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Or noir » ; **Figure 18** : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Vert »). Plusieurs tendances marquantes suivent l'examen de ces graphiques. En particulier, les courbes des trois cas étudiés ont un profil identique pour chacun des deux scénarios. Leur allure confirme, en outre, trois phénomènes que nous avons déjà mis en exergue. Le coût total de détention de l'AE se réduit à mesure que la distance parcourue s'allonge, la courbe du coût total de détention du véhicule diesel est asymptotique, tandis que les opérateurs de mobilité cherchent à lisser dans le temps les coûts de détention de l'AE, entraînant, par-là, un phénomène de parallélisation des coûts avec ceux du véhicule diesel.

Figure 17 : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Or noir » :

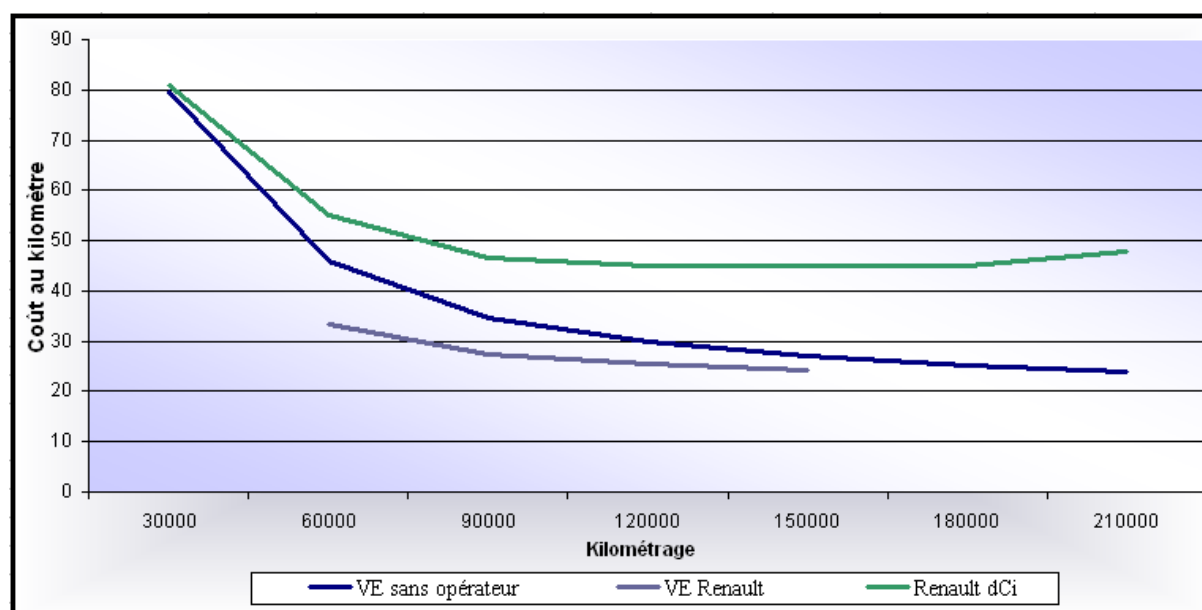
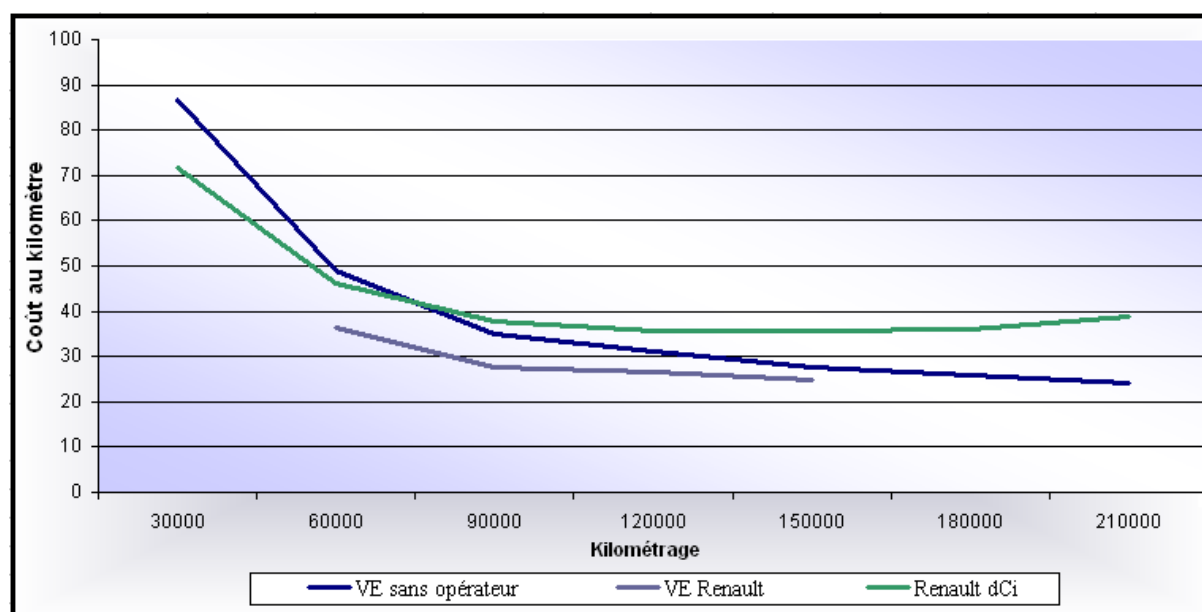


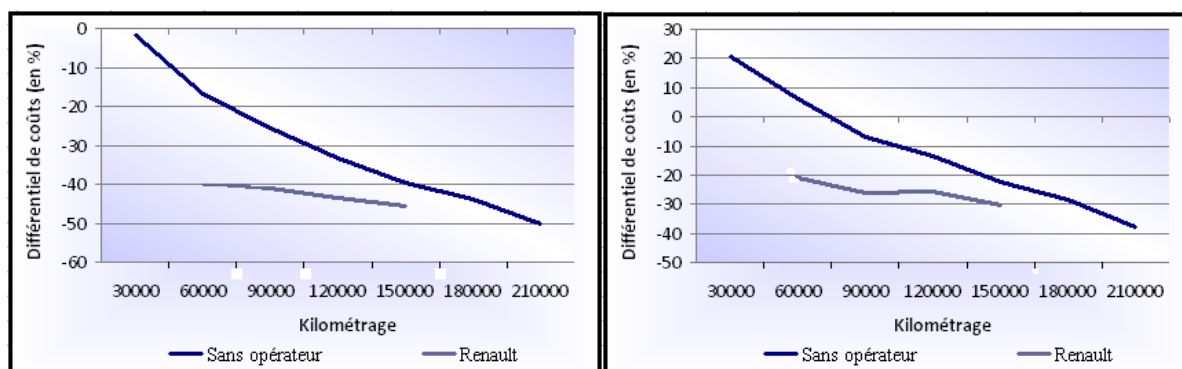
Figure 18 : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Vert » :



La situation propre à chacun des scénarios diverge quant au seuil de rentabilité de l'AE face au véhicule diesel. Alors que le scénario « Or noir » s'avère propice à l'AE, son niveau de coût de revient étant systématiquement moindre sur le kilométrage considéré, le contexte du scénario « Vert » lui est moins favorable. En effet, le seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule à moteur diesel n'intervient qu'aux abords d'une distance de 75.000 kilomètres

(**Figure 19** : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel, par scénarios ; **Annexe 26** : Tableau de données du coût total de détention relatif de l'AE, par scénarios, p.581). Or, cette distance renvoie concrètement à un rythme de consommation moyen du bien « automobile ».

Figure 19 : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel, par scénarios :



La comparaison des coûts de détention de l'AE distingués par modalité de commercialisation fait, pour sa part, apparaître un net avantage tarifaire aux formules des opérateurs de mobilité électrique combinant la vente de l'AE et la location de sa batterie, tel que Renault. Ce résultat est notamment lié à une curiosité empirique, qui voit la valeur de revente en occasion des AE semblables, qu'ils soient livrés avec ou sans leurs accumulateurs. Le caractère paradoxal de ce constat et le faible recul sur des données à la fois rares et prématurées invitent à la prudence. Notons néanmoins que la valeur de revente de l'AE n'est pas capitale dans cette formule, car pour atteindre un seuil de rentabilité nul par rapport à celui d'une AE vendue sans opérateur, une AE proposée par un opérateur de mobilité ne devrait valoir que 3230 euros – soit 70% de moins que sa valeur estimée – à l'échéance de six ans pour une distance de 60.000 kilomètres (**Annexe 27** : Valeur de revente d'une AE « avec opérateur » à 6 ans pour atteindre un seuil de rentabilité nul par rapport aux autres modalités de vente, par scénarios, p.581). Ce chiffre, curieux à première vue, souligne le fait que le mécanisme de génération de revenus des opérateurs de mobilité électrique ne se base pas uniquement sur la vente de l'AE et la location

de sa batterie, mais également sur la revente, *in fine*, de la batterie ou son recyclage dans une filière *ad hoc*.

Conclusion du Chapitre 2.

Tout au long de ce déroulé, nous avons cherché à construire un modèle de référence sur une appréhension fiable de la structure de coûts de l'AE, de son coût total de possession et enfin, de sa rentabilité à l'égard du véhicule diesel. Pour cela, nous avons considéré les différentes modalités de commercialisation de l'AE, en particulier selon la présence ou non d'opérateurs de mobilité électrique, et avons recouru à une analyse spatialement et temporellement située, en nous concentrant sur le cas d'une AE vendue en France en 2012. Après l'inventaire des facteurs de coûts de l'AE, une simulation de la hausse tendancielle du prix des carburants et de l'électricité et ses effets sur le seuil de rentabilité de l'AE a été effectuée par l'intermédiaire de scénarios prospectifs. Ces derniers ont ensuite été mis à profit pour parfaire l'estimation du coût total de possession de l'AE, une fois appliqués aux multiples modes de valorisation de l'AE et de sa batterie. Cette entreprise nous permet de souligner un certain nombre de tendances.

Afin de garantir la pertinence et la comparabilité de nos résultats, nous avons basé nos calculs sur le cas de la Renault Fluence, l'un des rares modèles de la production automobile mondiale à être décliné et commercialisé sous la forme d'une AE et d'un véhicule thermique. Elle a, en outre, la particularité d'être commercialisée sous plusieurs formats, parmi lesquels, ceux des « opérateurs de mobilité électrique » Renault et *Better Place*. Ces acteurs avancent le principe novateur de la vente d'une « fonction de mobilité », consistant à vendre l'AE et à offrir une prestation forfaitaire de mobilité qui comprend la location de la batterie d'accumulateur, voire

une prestation intégrée comprenant la location de la batterie, l'accès à une infrastructure de recharge, ainsi que le coût d'achat de l'électricité. Ce modèle d'affaires s'articule sur une redéfinition des éléments composant les coûts d'achat et d'usage de l'AE et entraîne un phénomène de lissage des coûts de possession de l'AE dans le temps. Le premier corollaire est que le coût d'accès à l'électromobilité est réduit par la médiation des opérateurs de mobilité électrique. Le second corollaire est que le mécanisme de génération des revenus des opérateurs électrique ne se base pas exclusivement sur la vente de l'AE, mais sur une démarche intertemporelle de valorisation des batteries, visant à les louer, les revendre ou les recycler. Notons qu'en dissociant la détention de l'AE et de la batterie, louée sur une période de temps limitée, les opérateurs de mobilité créent *ex-nihilo* un débouché pour leurs propres batteries.

Pour s'inscrire dans une réalité et des mécanismes économiques fondés, nos scénarios forment deux visions extrêmes et diamétralement opposées du monde, qui bornent les contextes inclus dans notre analyse. Pour le scénario « Or noir », la croissance économique mondiale est tirée par des pays émergents gourmands en ressources énergétiques fossiles, ce qui occasionne une croissance exponentielle des prix du carburant Gasoil. Dans le scénario « Vert », la croissance économique mondiale se répartit plus équitablement, les pays anciennement industrialisés capitalisant sur une économie verte. Si les prix du pétrole enregistrent un repli, ceux de l'électricité pâtissent du coût des EnR intermittentes qui infusent le mix énergétique. De manière contre-intuitive, le scénario « Or noir », est financièrement plus propice à l'essor de l'AE que l'environnement dépeint dans le scénario « Vert ». Ce résultat est néanmoins nuancé par des éléments de nature plus qualitative, telles que la mise en place de ZAPA (Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air), la mise en place de réseaux d'infrastructures publiques de recharge, de systèmes d'informations en temps réel sur le positionnement et la disponibilité

des bornes ou de systèmes d'autopartage à grande échelle. *A contrario*, l'abandon des mesures fiscales en faveur de l'AE altère fortement son niveau de rentabilité à l'égard du véhicule diesel, puisque son seuil de rentabilité passe de zéro à 66.500 kilomètres pour le scénario « Or noir » et de 72.000 kilomètres à 129.000 kilomètres pour le scénario « Vert ».

La valorisation financière, sous diverses formes et à différentes étapes de leurs cycles de vie, de l'AE et de sa batterie a mis en exergue le nouveau paradigme dans lequel ils s'inscrivent. Le rapprochement entre l'AE et la problématique des systèmes électriques et des infrastructures énergétiques est, à ce titre, éclairant sur l'opportunité technico-économique de recourir aux accumulateurs pour stocker temporairement de l'électricité et la réinjecter opportunément dans le réseau électrique est favoriser l'intégration des EnR intermittentes. La batterie constitue ainsi le soubassement de sources de recettes susceptibles de diminuer le coût de revient de l'AE. Nous parlons de logiques de valorisation « *ex-post* » et « concomitante ». La valorisation *ex-post* consiste à allonger le cycle de vie des batteries par une utilisation alternative à la fin de vie de l'AE. La valorisation concomitante renvoie à une batterie stockant de l'électricité tout à la fois pour le réseau électrique et pour permettre le déplacement de l'AE. En France, où la base nucléaire de la production électrique assure une grande sûreté du réseau et absorbe l'intermittence des EnR, les gains attendus de la première option sont supérieurs à ceux de la seconde. Cette assertion souligne le caractère territorialisé des opportunités d'affaires liées à la valorisation concomitante. En effet, le marché de l'électricité – composé de segments de marchés distincts par leurs mode de contrôle, temps de réponse, durée de mise à disposition de l'électricité et par les prix pratiqués – véhicule des contraintes et opportunités spécifiques aux territoires, à un niveau national ou régional et sur un axe géographique ou économique. La question croisée de l'AE et des systèmes électriques

sera approfondie dans la deuxième partie, dans le cadre du système d'électromobilité qualifié de « multifactes ».

La valorisation *ex-post* de l'AE transite également par le recyclage de sa batterie et sa propre revente. A long terme, la revente de la batterie n'est pas réaliste en raison d'incertitudes quant à sa capacité de recharge et sa fiabilité, de sorte que son recyclage est l'alternative privilégiée. A plus court terme, compte tenu de la structure singulière de ses coûts, la revente de l'AE est l'option la plus avantageuse. A l'instar du véhicule diesel, qui doit la supériorité de sa cote en occasion face aux versions à essence à la modicité de ses coûts d'usage, et malgré le fait qu'il est un substitut imparfait, nous avons constaté que l'AE bénéficie d'une valeur de revente sur le marché de l'occasion favorablement orientée. En outre, les données empiriques indiquent paradoxalement que la désunion de la propriété de l'AE et de sa batterie ne limite pas la valeur de revente des AE « nues », c'est-à-dire dépourvues de leurs accumulateurs. Le faible recul sur des données à la fois rares et prématurées invite néanmoins à nuancer ce constat. Egalement les données empiriques révèlent que les AE revendus précocement parcourent une distance moindre que les véhicules plus conventionnels, ce qui jure avec la dégressivité du coût total de détention de l'AE à mesure que les kilomètres défilent. Cet état de fait peut signifier que la motivation des *early adopters* relève d'une logique militante plutôt qu'économique, ou bien qu'ils valorisent d'autres aspects qualitatifs de l'AE difficiles à internaliser dans les prix, tels que le plaisir de sa conduite, lié à ses performances, sa douceur et son insonorisation.

Au final, le coût total de possession de l'AE évolue en fonction de plusieurs paramètres. Considérant les modalités de commercialisation, nous avons vu que le coût total de détention de l'AE se réduit à mesure que les distances s'allongent, alors que celui du véhicule diesel se

stabilise assez rapidement. Les opérateurs de mobilité électrique, quant à eux, cherchent à lisser ces coûts dans le temps, entraînant un phénomène de parallélisation des coûts de l'AE avec ceux du véhicule diesel. L'avantage tarifaire de cette solution de commercialisation est conséquent, soulignant un élément essentiel du paradigme de l'AE, le fait qu'elle dispose, par l'intermédiaire de sa batterie, d'une source de recettes importante en cours et à la fin de sa vie. La distance parcourue et la période d'amortissement sont également des facteurs centraux. A mesure qu'elles grandissent, on observe une convergence graduelle des coûts de détention de l'AE sous toutes ses formes, mais une divergence avec les coûts de revient de la motorisation diesel. Les scénarios, finalement, renvoient à une collection de contextes suffisamment contrastée pour attester du fait que le seuil de rentabilité de l'AE face à son homologue diesel intervient en l'espace de zéro à 72.000 kilomètres, soit une valeur proche du rythme de consommation moyen du bien « automobile » en France, à raison de 12.500 kilomètres par an. En d'autres termes, dans un cadre usuel, l'AE constitue toujours une solution d'automobilité rentable par rapport au véhicule thermique conventionnel.

Conclusion de la Partie 1

Cette première partie s'est donnée pour objectif de décrire ce qu'est une AE et d'offrir un premier aperçu de son cadre d'émergence afin de saisir ses modalités d'évolution. Au travers d'échanges nourris entre les niveaux microéconomiques et mésoéconomiques, nous nous sommes attachés à repérer les éléments techniques et économiques façonnant les conditions d'émergence et de diffusion du véhicule électrique. Afin d'en prélever la substantifique moelle, nous avons mobilisé une littérature en termes de régime technologique et, plus généralement, nous avons analysé les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE à travers leur encastrement dans les interactions de marché et dans leur contexte institutionnel. Dans un premier temps, dans une logique de grossissement graduel du spectre de l'analyse, les concepts d'opportunité, d'appropriabilité et de cumulativité technologiques, entendus dans une acception large, ont été mis à profit pour analyser les batteries d'accumulateurs avancées, puis le moteur électrique (**Chapitre 1**). Dans un deuxième temps, l'approche du « coût total de possession » (ou *life-cycle cost analysis*), nous a permis de dresser un constat fiable de la structure de coûts de l'AE et de sa rentabilité à l'égard du véhicule thermique (**Chapitre 2**). De ces éclairages complémentaires émane un nombre substantiel de résultats et de corollaires.

Appliqués aux cas des batteries et de la motorisation électrique, les concepts d'opportunité, d'appropriabilité et de cumulativité technologiques sont apparus très différenciés. Les batteries d'accumulateurs font, en effet, montre de faibles degrés d'opportunité et de cumulativité technologiques et d'un degré d'appropriabilité élevé, tandis que symétriquement, le moteur électrique expose un degré de cumulativité technologique élevé et un degré d'appropriabilité limité. Cette distinction est essentielle car elle gouverne la nature des verrous auxquels est confronté l'AE dans ses velléités d'émergence et de diffusion. Pour les

batteries, les obstacles sont ainsi principalement d'ordre technique et se singularisent par une trajectoire technologique tâtonnante et inertielle favorisant les innovations incrémentales au détriment des innovations radicales. Ces verrous techniques sont néanmoins contrebalancés par une dynamique économique favorable, liée aux conditions d'une standardisation *de facto* (David et Greenstein, 1990) sur la technologie du Lithium-Ion et à l'émergence de consortiums de recherche précompétitive destinés à faire progresser collectivement une technologie « revêche » (Larrue, 2004). Par opposition, la pierre d'achoppement du moteur électrique n'est pas technique, mais d'ordre économique. Tandis que la conception et la production de moteurs électriques sont accessibles aux constructeurs automobiles, les propriétés de fiabilité et d'efficience de la motorisation électrique occasionnent un bouleversement des sources de la valeur pour ces derniers et un déplacement des sources de coût de possession pour les consommateurs.

Nous pouvons l'affirmer sans ambages, le coût de revient de l'AE n'est pas un élément fragilisant son émergence ou sa diffusion. Ramenée à un rythme de consommation « moyen » du produit « automobile » en France et à travers le filtre d'une collection de contextes fortement contrastés, l'AE constitue toujours une solution d'automobilité rentable par rapport au véhicule thermique conventionnel. Toutefois, en ne mimant pas le comportement d'achat *lambda* des particuliers, l'AE peut dérouter une clientèle qui ne recourrait pas à une démarche d'optimisation des coûts sur la durée de détention d'un véhicule. De ce point de vue, elle s'adresse probablement en priorité au marché des professionnels. Outre les subventions à l'achat, la modicité du coût de revient de l'AE est liée au nouveau paradigme de valorisation dans lequel elle s'ancre, c'est-à-dire la possibilité de valoriser financièrement – sous diverses formes et à différentes étapes de son cycle de vie – la capacité de stockage d'électricité de sa batterie d'accumulateurs. De ce point de vue, la propriété de stocker temporairement de

l'électricité et de la réinjecter opportunément dans le réseau électrique n'occasionne pas seulement un *cash-back* pour les particuliers ou les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges qui s'appuient sur une démarche intertemporelle de valorisation des batteries, mais favorise également l'intégration des énergies renouvelables intermittentes. En retour, le mix énergétique territorialisé, à l'échelle régionale ou nationale, conditionne les opportunités d'affaires accessibles et donc, la probabilité d'émergence de l'AE.

L'adoption de l'AE entraîne un renouvellement paradigmatique, qui dépasse amplement le carcan technique – la substitution du diptyque moteur thermique et réservoir d'essence par le triptyque moteur électrique, électronique de puissance et batterie d'accumulateurs – pour embrasser la problématique économique, voire sociologique. La redéfinition drastique de la chaîne de traction automobile draine avec elle un bouleversement des points de force et de friction inhérents aux technologies. La simplicité et l'efficacité de la chaîne de traction électrique structure l'efficacité énergétique globale et se pose comme le principal argument commercial de l'AE. *A contrario*, le coût élevé et la longévité relative des batteries, au même titre que l'efficacité et la fiabilité du moteur électrique, fragilisent son équation économique. Notons que cette fragilité pourrait être jugulée, à terme, par une dominance des batteries Lithium-Ion, suscitée par la configuration spécifique de leur industrie et par l'étendue de leurs débouchés. Face à la durée importante de sa recharge, encore attisée par sa faible autonomie, l'anxiété face à la panne sèche constitue le principal obstacle d'ordre sociologique à l'émergence de l'AE. Soulignons ici la nécessité de considérer le triptyque moteur électrique, électronique de puissance et batterie d'accumulateurs à travers un prisme systémique, car à la croisée de ces composantes, certaines faiblesses des batteries sont minimisées. Par exemple, certains moteurs électriques sont capables d'effectuer une partie du travail de conversion du courant habituellement assuré par les bornes de recharge et contribuent, par-là, à minimiser la

durée de la charge du véhicule. Ces propriétés systémiques engendrent, en outre, l'existence d'arbitrages le long de sa courbe d'apprentissage.

Au regard de ce renouvellement paradigmatique multidimensionnel, un écueil à éviter dans l'analyse de l'essor de l'AE semble être de raisonner à technologie et à contexte économique constants. Dans ses modalités contemporaines d'émergence, l'AE est ainsi le vecteur de nouveaux modèles d'affaires susceptibles de contourner ses faiblesses intrinsèques en termes d'autonomie et de coût notamment. En cela, il s'arrime à une lame de fond « servicielle », qui semble le précéder, le traverser et le dépasser et qui met en relief l'apparition d'opérateurs de mobilité électrique avançant le principe novateur de la vente d'une « fonction de mobilité », consistant à vendre l'AE et à offrir une prestation forfaitaire de mobilité qui comprend la location de la batterie d'accumulateurs, voire une prestation intégrée comprenant la location de la batterie, l'accès à une infrastructure de recharge, ainsi que le coût d'achat de l'électricité. Rappelons ainsi qu'à la confluence de la modicité du coût de l'électricité dont il s'abreuve, de la fiabilité de son moteur et du coût important de sa batterie, l'AE constitue une solution de déplacement rentable pour les automobilistes, institutions et industriels qui ont la stratégie d'en maximiser l'usage. Remarquons que maximiser l'usage de l'AE consiste également à en maximiser l'usure. Usure et usage constituent ainsi les deux éléments clés d'une modalité spécifique et potentiellement viable de commercialisation de l'AE. Au-delà, la pertinence économique de l'AE se conjugue également aux conditions fiscales et économiques, particulièrement variables, des lieux d'achat. Nous estimons que sa pertinence financière est ainsi « territorialisée », d'autant que les propriétés de la chaîne de traction électrique ouvrent l'AE sur son environnement géographique d'émergence. Son efficacité énergétique globale se montre ainsi tributaire de la nature vertueuse ou non des sources énergétiques à l'origine de la production électrique. En corollaire, l'AE met en valeur tous les

éléments de la granularité des territoires, par-delà le degré de correspondance entre ses caractéristiques techniques – en termes d'autonomie et de temps de charge – et la nature des mobilités, elles-mêmes spécifiques à chaque territoire.

Au total, les modalités de conception, de production et les frontières de l'industrie de l'AE ne semblent pas encore consolidées. Tout juste pouvons-nous affirmer que l'AE, dont l'architecture technique est fondamentalement renouvelée à l'égard du véhicule thermique, modifiera la physionomie de l'industrie automobile, tant du point de vue de la nature des relations entre les acteurs, que sur les mécanismes de génération et de partage de la valeur, ou encore, du point de vue de son périmètre, puisque de nouveaux acteurs (producteurs de batteries, etc.) gravitent désormais autour des constructeurs automobiles qui, pour certains, émergent. Jusque-là, notre raisonnement s'est limité à appréhender l'AE à travers une clé de lecture technique. Elle nous a été utile pour exposer la dimension technique, économique, sociologique et territoriale des obstacles sur lesquels est susceptible de buter l'émergence de l'AE, de même que pour exposer les principales propriétés de ce dernier. A cet égard, le principal frein à l'émergence de l'AE porte sur un paradoxe endogène, une limite intrinsèque. Alors que sa structure de coût favorise les utilisations fréquentes et conséquentes de l'AE, il fait montre d'une autonomie limitée et d'une durée de recharge importante.

La perspective évolutionniste dans laquelle nous nous inscrivons démontre que les trajectoires technologiques ne reposent pas sur la supériorité technique ou économique supposée (ou avérée) d'une solution technologique, mais sur un processus institutionnel et sociopolitique de production de compromis entre diverses communautés d'intérêt (Anderson et Tushman, 1990). Nous nous sommes efforcés de le mettre en évidence et proposons d'en accentuer l'acuité en prolongeant cette première partie par l'adoption d'une grille d'analyse plus

englobante. En démontrant que l'AE doit s'appréhender comme un bien qui fait système avec son infrastructure de recharge, les usages et mobilités et les propriétés des territoires, nous pourrons réellement analyser toutes les composantes de l'« électromobilité ». La suite de ce travail se placera ainsi à la croisée des dimensions systémique et territoriale de l'AE et dans la critique d'une démarche statique, c'est-à-dire à technologie constante, par trop restrictive pour en envisager toute sa richesse et la complexité. Nous verrons que l'analyse de l'émergence du véhicule électrique ne peut s'entreprendre de manière atemporelle, a-spatiale et à l'aune des seules frontières de l'industrie automobile traditionnelle.

Bibliographie de la Partie 1

- ABB (2012), GM et ABB offrent une seconde vie à la batterie de la Chevrolet Volt, Communiqué de Presse n°2012.11.20, [En ligne] (page consultée le 15/12/2012).
<http://www.abb.fr/cawp/seitp202/cb91da15fbb5aa45c1257abc004a24b9.aspx>
- ABERNATHY W. et UTTERBACK J. (1978), « Patterns of industrial innovation », *Technology Review*, Vol.80, n°7, pp.40-47.
- ABOULAICH A. (2007), Electrodes négatives pour batteries rechargeables Lithium Ion : dispersion d'espèces électroactives dans une matrice [En ligne], Thèse de doctorat : Chimie des matériaux, Montpellier : Université de Montpellier 2, 208 pages, disponible sur :
http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/56/04/PDF/rapportRV- versionfinale1.doc_these_ABOULAICH.pdf
(Page consultée le 25/06/2010).
- ACA (2012.a), *Le budget de l'automobiliste français*, Automobile Club Association, Paris, Juin 2012, 32 pages.
- ADEME (2009), *Enjeux, consommations électriques, émissions CO2 des transports électriques à l'horizon 2020-2030*, Août 2009.
- ADEME (2011.a), *Etude de la seconde vie des batteries des véhicules électriques et hybrides rechargeables*, Juin 2011, 60 pages.
- AFSSE (2005), *Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur l'espérance de vie*, Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale, Juillet 2005, 15 pages.
- ALMEIDA E.L.F. (1999), Une analyse évolutionniste du changement dans la technologie des moteurs électriques [En ligne], Thèse de doctorat : Economie appliquée, Grenoble : Université Pierre Mendès France, 382 pages, disponible sur (Page consultée le 30/09/2010).
<http://web.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/Almeida-these.pdf>

- ANDERSON D.L. et PATIÑO-ECHEVERRI D. (2009), An evaluation of current and future costs for Lithium-Ion batteries for use in electrified vehicle powertrains, Mémoire de Master : Environmental Management, Duke : Nicholas School of the Environment of Duke University, 48 pages.
- ANDERSON P. et TUSHMAN M.L. (1990), « Technological Discontinuities and Dominant Designs : A Cyclical Model of Technological Change », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°4, pp.604-633.
- APHEKOM (2011), *Answers to Key Questions on the Impact of Air Pollution on Health in Europe*, Institut National de Veille Sanitaire, Paris, Mars 2011, 12 pages.
- AVEM (2012), Véhicules électriques – Les immatriculations en France au premier semestre 2012, Association pour l'Avenir du Véhicule Electrique Méditerranéen [En ligne] : <http://www.avem.fr/actualite-vehicules-electriques-les-immatriculations-en-france-au-premier-semester-2012-3306.html> (Page consultée le 11/12/2012).
- AVERE (2012), Les technologies utilisées dans les batteries d'accumulateurs, Association pour le développement du véhicule électrique [En ligne] (Page consultée le 07/01/2013). <http://www.france-mobilite-electrique.org/les-technologies-utilisees-dans-les-batteries-d-accumulateurs,073.html>
- AVICENNE (2012), *Worldwide Rechargeable Battery Market 2011-2025*, Avicenne Energy, Paris, Décembre 2012, 221 pages.
- Banque Mondiale (2012), PIB par habitant (\$ US courants) [En ligne] : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.CD> (page consultée le 09/09/2012).
- BARCHASZ C. (2011), Développement d'accumulateurs lithium/soufre [En ligne], Thèse de doctorat : Matériaux, Mécanique, Génie civil, Electrochimie, Grenoble : Université Pierre Mendès France, 248 pages, disponible sur (Page consultée le 04/12/2011). http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/68/15/04/PDF/23636_BARCHASZ_2011_archivage.pdf
- BAYLIS R. (2012), *Vehicle electrification and other lithium end-uses—How big and how quickly ? : Lithium Supply & Markets 2012*, Roskill, Wimbledon, Janvier 2012, 27 pages.

- BCG (2010), *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the Outlook for 2020*, Boston Consulting Group, Octobre 2010, 18 pages.
- BEAUME R. et MIDLER C. (2009), « From technology competition to reinventing individual mobility for a sustainable future : challenges for new design strategies for electric vehicle », *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol.9, n°2, pp.174-190.
- BINOIS E. (2011), *Les constructeurs automobiles se soucient davantage des métaux que des terres rares*, Euractiv, Bruxelles [En ligne] (Page consultée le 04/03/2011).
[HTTP://WWW.EURACTIV.FR/SPECIALREPORT-RAWMATERIALS/LES-CONSTRUCTEURS-AUTOMOBILES-SE-NEWS-502743](http://www.euractiv.fr/specialreport-rawmaterials/les-constructeurs-automobiles-se-news-502743)
- BIPE (2009), *Observatoire prévisionnel et marketing des déplacements et des arbitrages automobiles*, Paris, Juin 2009.
- BONNATERRE R. (2010), Daimler en s'alliant à Nissan irait chercher le package technologique EV au Japon, *Le Blog des énergies nouvelles* [En ligne] :
<http://www.leblogenergie.com/2010/03/daimler-en-salliant-%C3%A0-nissan-irait-chercher-le-package-technologique-ev-au-japon-.html> (Page consultée le 26/03/2010).
- BONNAURE P. et LAMBLIN V. (2005), « L'automobile de demain, quels enjeux, quelles perspectives », *Futuribles*, n°311, pp.25-38.
- BOURBON J-J. (2009), « Nissan fait des batteries un de ses cœurs de métier », *La Croix*, Samedi 19 Octobre 2009.
- BRESCHI S., MALERBA F. et ORSENIGO L. (2000), « Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation », *Economic Journal*, Vol.110, n°463, pp.388-410.
- BRICNET F. et DELAIN B. (2010), « La géopolitique de l'industrie automobile dans la crise », Séminaire d'Economie Industrielle, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 24/02/2010.
- BRODD R. (2006), *Factors Affecting US Production Decisions: Why Are There No Volume Lithium-Ion Battery Manufacturers in the United States*, National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, NIST GCR 06-903, 95 pages.

- CACCOMO J-L. (2005), *L'épopée de l'innovation – Innovation technologique et évolution économique*, Paris, L'Harmattan, Collection L'esprit économique, 146 pages.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMEN M. et RICKNE A. (2002), « Innovation systems : analytical and methodological issues », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.233-245.
- CCFA (2011), *L'industrie Automobile Française – Analyse et statistiques 2011*, Comité des Constructeurs Français d'Automobile, Septembre 2011, 84 pages.
- CCFA (2012), Les ventes de véhicules électriques ont été quintuplées en 2011 [En ligne] : <http://www.ccfa.fr/Les-ventes-de-vehicules,105670>
- CE DELFT (2008), *Duurzamer leasen, Effecten van het Duurzame Mobiliteitsplan*, B.E. KAMPMAN, M.B.J. OTTEN, R.T.M. SMOKERS, Novembre 2008, 78 pages.
- CENTER FOR AUTOMOTIVE RESEARCH (2011), *The U.S. Automotive Market and Industry in 2025*, Juin 2011, 67 pages.
- CETELEM (2011), *Les jeunes et l'automobile : voie dégagée*, Observatoire de l'automobile, Paris, Juin 2011, 84 pages.
- CETELEM (2012), *La voiture électrique et les européens*, Observatoire de l'automobile, Paris, Juin 2012, 100 pages.
- CGDD (2009), *Etude « Filières vertes » : Les filières industrielles stratégiques de la croissance verte*, Commissariat Général au Développement Durable, Octobre, 128 pages.
- CIRENE (2000), « Le Stockage de l'électricité : les batteries – Batteries au lithium : les enjeux scientifiques et technologiques d'un marché d'avenir », *CIRENE Clefs CEA*, n°44, pp.67-98.
- COASE R.H. (1937), « The Nature of the Firm », *Economica*, Vol.16, pp.331-351.
- COHEN W.M. et LEVINTHAL D.A. (1990), « Absorptive-capacity - a new perspective on learning and innovation », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°1, pp.128-152.

- COLLET R. (2008), *Addiction à l'usage de l'automobile en France et mesures d'élasticité*, Colloque international : 25^{èmes} Journées de Microéconomie Appliquées, 29-30/05/2008, Université de La Réunion, Saint-Denis, 55 pages.
- COMMISSION EUROPEENNE (2011.a), *Énergies renouvelables: progrès accomplis pour atteindre l'objectif de 2020*, Communication de la Commission au Parlement Européen et au Conseil, Janvier 2011, 19 pages.
- CONGREGA C. et LEBLANC Y. (2011), « Renault électriques : le secret qui méritait d'être volé », *L'Automobile Magazine*, n°780, Mai 2011.
- CORNAERT J-J. (2010), *L'avenir de l'automobile – 25 questions décisives*, Armand Colin, Paris, 160 pages.
- CORNAERT J-J. et GAY B. (2010), « L'an un de la voiture électrique », *Science&Vie*, Hors-série n°31, Septembre 2010, pp.22-27.
- COUR DES COMPTES (2012), *Les coûts de la filière électronucléaire*, Rapport public thématique, Janvier 2012, 430 pages.
- DAVID P.A. et GREENSTEIN S. (1990), « The economics of compatibility standard: an introduction to recent research », *Economies of Innovation and New Technology*, Vol.1, n°1-2, pp.3-43.
- DEMOZ F. (2010), *La voiture de demain - La révolution automobile a commencé*, Collection Nouveau Monde, Paris, 236 pages.
- DESSUS B. (2008), « La fée électricité sous le capot ? », *Liaison Énergie-Francophonie (IEPF)*, n°81, pp.46-50.
- DOLOREUX D. et BITARD P. (2005), « Les systèmes régionaux d'innovation : Discussion critique », *Géographie, économie, société*, Vol.7, n°1, pp.21-36.

- DOSI G. (1982), « Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change », *Research Policy*, Vol.11, n°3, pp.147-162.
- DUPIN L. (2009), « La bataille mondiale des batteries », *L'Usine Nouvelle*, n°3162, Octobre 2009 [En ligne] (Page consultée le 06/02/2010).
<http://www.usinenouvelle.com/article/la-bataille-mondiale-des-batteries.N118351>
- ELECTRIFICATION COALITION (2009), *Electrification Roadmap - Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security*, Novembre 2009, 180 pages.
- ENTSO-E (2011), *Overview of transmission tariffs in Europe : Synthesis 2010*, Mai 2011, 40 pages.
- EPEX SPOT (2012), Prix spot de l'électricité en France – 2011-2012 [En ligne] :
<http://www.epexspot.com/en/> (Page consultée le 27/09/2012).
- EUCAR (2009), *The Electrification of the Vehicle and the Urban Transport System*, European Council for Automotive R&D, July 2009, 11 pages.
- EUROSTAT (2013), Electricity and natural gas price statistics [En ligne] (Page consultée le 06/06/2013) :
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics
- FONTEZ M. et GRUMBERG P. (2010), « Les six défis de la batterie », *Science&Vie*, Hors-série n°31, Septembre 2010, pp.28-33.
- FORAY D. (1989), « Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.48, n°1, pp.16-34.
- FRERY F. (2000), « Les produits éternellement émergent : le cas de la voiture électrique », in MANCEAU D. et BLOCH A. (Eds.), *De l'idée au marché. Innovation et lancement de produits*, Vuibert - Collection Vital Roux, Paris, pp 234-264.
- FROST&SULLIVAN (2010), *Global Electric Vehicles Lithium-ion Battery Second Life and Recycling*, Novembre 2010, 157 pages.

- GARRETT D.E. (2004), *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride*, Elsevier Academic Press, San Diego, 488 pages.
- GILLE B. (1979), « La Notion de « système technique ». Essai d'épistémologie technique », *Technique et Culture*, Vol.1, pp.8-18.
- GREEN POWER (2010), *Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles*, Green Power for Electric Cars, Janvier 2010, 86 pages.
- HARTMANN N. et ÖZDEMİR E.D. (2011), « Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030 », *Journal of Power Sources*, Vol.196, n°4, pp.2311-2318.
- HOCHFELD C. (2010), « Moving towards the future : National Platform for Electromobility in Germany », Colloque international : EXPO 2010 Shanghai, 26 Mai, Shanghai, 30 pages.
- INERIS (2011), *Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques – Analyse préliminaire des risques*, Institut national de l'environnement industriel et des risques, Juin 2011, 92 pages.
- INSEE (2009), *Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008*, Institut national de la statistique et des études économiques, Avril 2009.
- INSEE (2012), Enquête « Budget de famille – Equipement automobile des ménages en 2012 », Institut national de la statistique et des études économiques, [En ligne] : http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF05160 (Page consultée le 09/10/2013).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2009), *World Energy Outlook 2009*, OCDE, Paris, 696 pages.
- KARAYAN R. (2009), « A123Systems recharge ses batteries en Bourse », *L'Usine Nouvelle*, n°3161, Septembre 2009 [En ligne] (Page consultée le 01/02/2010).
<http://www.usinenouvelle.com/article/a123systems-recharge-ses-batteries-en-bourse.N118180>
- KEMPTON W. et DHANJU A. (2006), « Electric Vehicles with V2G : Storage for Large - Scale Wind Power », *Windtech International*, Vol.2, n°2, pp.18-21.

- KEMPTON W. et KUBO T. (2000), « Electric-drive vehicles for peak power in Japan », *Energy Policy*, n°28, pp.9-18.
- KEMPTON W. et LETENDRE S. (1997), « Electric vehicles as a new power source for electric utilities », *Transportation Research Part D : transport and Environment*, Vol.2, n°3, pp.157-175.
- KEMPTON W. et TOMIC J. (2005), « Vehicle-to-grid power fundamentals : calculating capacity and net revenue », *Journal of Power Sources*, Vol.144, n°1, pp.268-279.
- KENDALL G. (2008), *Plugged in – the end of the oil age*, WWF European Policy Office, Bruxelles, 202 pages.
- KOLEDA G. (2004), « Innovations horizontales et verticales, croissance et régimes technologiques », *Revue Economique*, Vol.55, n°2004-6, pp.1171-1990.
- KURANI K., TURRENTINE T. et SPERLING D. (1994), « Demand for electric vehicles in hybrid households : an exploratory analysis », *Transport Policy*, n°1, pp.244-256.
- LA CENTRALE DES PARTICULIERS [En ligne] : <http://www.lacentrale.fr/>
- LAGUITTON O. (2010), « La chasse aux émissions de CO2 des véhicules », *Le journal de l'OVE*, Octobre 2010, pp.5-6.
- LARRUE P. (2002), *La coordination des activités d'innovation dans les consortiums de recherche sur les batteries pour véhicules électriques et hybrides : une analyse comparative Etats-Unis, Europe, Japon*, Rapport ADIT, Paris, 189 pages.
- LARRUE P. (2004), « Action collective et régimes technologiques dans les phases d'émergence : le cas du consortium PNGV », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.106, pp.31-48.
- LEBLANC B. (2010), « Véhicule électrique : Renault planche sur les moteurs, EdF sur les prises », *L'Usine Nouvelle*, Avril 2010, n°3188.

- LEFEBVRE K. et ALVES C. (2011), « La météo de l’auto – prix des pièces », *Auto Moto*, Mai 2011, n°188.
- LOWE M., TOKUOKA S., TRIGG T. et GEREFFI G. (2010), *Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain*, Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University, Octobre 2010, 76 pages.
- LUTSKY A. (2009), « Gaz, pétrole et électricité sont très corrélés en termes de prix », *L’Usine Nouvelle*, Janvier 2009 [En ligne] (Page consultée le 27/09/2010).
<http://www.usinenouvelle.com/article/gaz-petrole-et-electricite-sont-tres-correles-en-termes-de-prix.N28887>
- MALERBA F. (2002.a), « Les régimes technologiques et les systèmes sectoriels d’innovation en Europe », in J-L. TOUFFUT (Ed.), *Institutions et innovation : de la recherche aux systèmes sociaux d’innovation*, Albin Michel, Paris, pp. 232–247.
- MALERBA F. (2002.b), « Sectoral systems of innovation and production », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.247-264.
- MALERBA F. et ORSENIGO L. (1993). « Technological regimes and firm behavior », *Industrial and Corporate Change*, Vol.2, pp.45-74.
- MASSON S.J. (2010), « Terres rares, la voiture électrique en danger ? », *Moteur Nature* [En ligne] (Page consultée le 30/12/2010) : http://www.moteurnature.com/actu/uneactu.php?news_id=25827
- MASSOT M-H. (Dir.) (2010), *Mobilités et Modes de vie Métropolitains, Les intelligences du quotidien*, éd. l’Oeil d’Or, Paris, 330 pages.
- MCKINSEY (2012), *Battery technology charges ahead*, McKinsey Quaterly, Juillet 2012, 16 pages.
- MERIDIAN (2008), *The trouble with lithium 2 – Under the Microscope*, Meridian International Research, Mai 2008, 58 pages.
- MICHAUX F. (2010), *Monographies des plans nationaux d’action en faveur de l’électromobilité*, Confrontations Europe, Avril 2010, 45 pages.

- MDd (2012), Direction Générale de l’Energie et du Climat, Ministère du Développement durable [En ligne] (Page consultée le 06/01/2013).

http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/petrole/se_cons_fr.htm

- MINEFI (2006), *Technologies clés 2010*, Ministère de l’Économie, des Finances et de l’Industrie, Les Éditions de l’Industrie, Septembre 2006, 46 pages.

- MISTE (2011), *La filière des batteries Lithium-Ion dans l’industrie automobile – État de l’art*, Rapport collectif Mastère Spécialisé : Intelligence scientifique, technique et économique, Paris : ESIEE Paris, 58 pages.

- MOWERY D. et ROSENBERG N. (1979), « The influence of market demand upon innovation : a critical review of some recent empirical studies », *Research Policy*, Vol.8, n°2, pp.102-153.

- MURMANN J.P. et FRENKEN K. (2006), « Towards a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change », *Research Policy*, Vol.35, n°7, pp.925–952.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998), *Effectiveness of the United States Advanced Battery Consortium As a Government-Industry Partnership*, National Academy Press, Washington, 90 pages.

- NELSON R.R. et WINTER S.G. (1977), « In search of useful theory of innovation », *Research Policy*, Vol.6, n°1, pp.36-76.

- NELSON R. et WINTER S.G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, 454 pages.

- NOVELECT (2003), « Un véhicule électrique « SIMPA » dans la ville », *Les cahiers de l’innovation*, Electricité de France, Décembre 2003, n°447.

- OIE (2013), Evolution des prix de l’électricité pour les ménages et les industriels en Europe entre 2007 et 2012, Observatoire de l’Industrie Electrique [En ligne] (Page consultée le 25/04/2013) : <http://www.observatoire-electricite.fr/Evolution-des-prix-de-l>

- OLIVER WYMAN (2009), *E-Mobility 2025*, Septembre 2009, 123 pages.

- OVE (2008), *L'Observatoire du Véhicule d'Entreprise fait sa révolution !*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Dossier de Presse, Février 2008, 20 pages.
- OVE (2009.a), *Tout savoir sur les véhicules électriques*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Les Cahiers Verts, Mai 2009, 52 pages.
- OVE (2010), *L'écosystème du véhicule électrique : Panorama mondial des stratégies et des forces en présence*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Juillet 2010, 46 pages.
- OTA (1995), *Advanced Automotive Technology : Visions of a Super-Efficient Family Car*, Office of Technology Assessment, Septembre 1995, 314 pages.
- PATRY M (1994), « Faire ou faire-faire : la perspective de l'économie des organisations », *Cahiers Cirano*, n°94c-1, 26 pages.
- PAVITT K. (1998), « Technologies, Products and Organization in the Innovating Firm : what Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn't », *Industrial and Corporate Change*, Vol.7, pp.433-452.
- PEW CHARITABLE TRUSTS (2011), *Who's winning the Clean Energy Race*, Avril 2011, 51 pages.
- PIKE RESEARCH (2009), *Electric vehicles: 10 predictions for 2010*, Octobre 2009, 14 pages.
- PHILIPPIN Y. (2010), « À Grenoble, le défi de batteries made in France », *Libération*, n°9139, Jeudi 30 Septembre 2010.
- POSTEL-VINAY G. (2009), « La voiture électrique, un nouvel axe des politiques industrielles », *Réalités industrielles*, Août, pp.67-74.
- REMY M. (2010), « Si les terres rares flambent, il y aura un surcoût pour de nombreux industriels », *L'Usine Nouvelle*, Novembre 2010, n°3211 [En ligne] :
<http://www.usinenouvelle.com/article/si-les-terres-rares-flambent-il-y-aura-un-surcout-pour-de-nombreux-industriels.N140950> (Page consultée le 04/04/2011).
- RENAULT (2005), *Rapport annuel 2004*, Renault SA, Avril 2005, 71 pages.
- RENAULT (2006), *Rapport annuel 2005*, Renault SA, Avril 2006, 97 pages.

- RENAULT (2007), *Rapport annuel 2006*, Renault SA, Avril 2007, 94 pages.
- RENAULT (2008), *Rapport annuel 2007*, Renault SA, Avril 2008, 94 pages.
- RENAULT (2009), *Rapport annuel 2008*, Renault SA, Avril 2009, 66 pages.
- RENAULT (2010), *Rapport annuel 2009*, Renault SA, Avril 2010, 45 pages.
- RENAULT (2011), *Rapport annuel 2010*, Renault SA, Avril 2011, 57 pages.
- RESEAU DE TRANSPORT D'ELECTRICITE (2010), Quel est l'impact de l'arrivée des véhicules électriques sur la courbe de consommation d'électricité ? [En ligne] (Page consultée le 04/07/2011) : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=vehicules&action=imprimer>
- ROLAND BERGER (2009), *Powertrain 2020 – The Future Drives Electric*, Roland Berger Strategy Consultants, Septembre 2009, 100 pages.
- ROLAND BERGER (2011), *Global study on the development of the automotive Li-ion battery market*, Roland Berger Strategy Consultants, Septembre 2011, 79 pages.
- ROSKILL (2009), *The Economics of Lithium*, Chemetall – Roskill, Septembre 2009, 324 pages.
- SAFT (2009), Saft, leader mondial des batteries pour l'aéronautique et le spatial, Communiqué de presse n°28-09 [En ligne] (Page consultée le 15/08/2010) : <http://www.saftbatteries.com/fr/press/press-releases/saft-leader-mondial-des-batteries-pour-l%E2%80%99a%C3%A9ronautique-et-le-spatial>
- SCHMOOKLER J. (1962), « Economic sources of inventive activity », *Journal of Economic History*, Vol.22, n°1, pp.1-20.
- SCHMOOKLER J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, Cambridge, 332 pages.
- SCHOTT B. (2010), *Lithium - begehrter Rohstoff der Zukunft; eine Verfügbarkeitsanalyse*, Baden-Württemberg: Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff Forschung, Juillet 2010, 15 pages.

- SCHWARTZ et GINDROZ (2005), *Le stockage Electrochimique*, ADEME - Dossier « Stockage de l'Energie », Janvier 2005, 107 pages.
- SIA CONSEIL (2010), *Les perspectives du marché des motorisations alternatives*, Septembre 2010, 37 pages.
- SHIROUZOU N. (2009), « Technology Levels Playing Field in Race to Market Electric Car », *The Wall street Journal digital network*, Lundi 12 Janvier 2009 [En ligne] : <http://online.wsj.com/news/articles/SB123172034731572313> (Page consultée le 30/04/2010).
- SPERLING D. (1997), *Future Drive : Electric Vehicles and Sustainable Transportation*, Island Press, Washington DC, 191 pages.
- SUAREZ F. et UTTERBACK J.M. (1995), « Dominant Designs and the Survival of Firms », *Strategic Management Journal*, n°16, pp.415-430.
- TCG CONSEIL (2011), *L'après-vente en France. Evolution à 2020 et comparatif européen*, Juin 2011, 3 pages.
- TIMOTHY E. (2004), « Integration of Motor Vehicle and Distributed Energy Systems », in Cleveland C.J. (Ed.), *Encyclopedia of Energy*, Elsevier, New-York, pp.475-486.
- TOMIĆ J. et KEMPTON W. (2007), « Using fleets of electric-drive vehicles for grid support », *Journal of Power Sources*, Vol.168, n°20, pp.459-468.
- UTTERBACK J.M. et ABERNATHY W.J. (1975), « A dynamic model of process and product innovation », *The International Journal of Management Science*, Vol.3, n°6, pp.639-656.
- UTTERBACK J.M. et SUAREZ F. (1993), « Innovation, Competition and Industry Structure », *Research Policy*, Vol.22, n°1, pp. 1-21.
- VERDEVOYE A-G. (2010), « Renault veut retrouver 30 % du marché hexagonal, son score d'il y a quinze ans », *La Tribune*, Vendredi 16 Avril 2010 [En ligne] : <http://www.latribune.fr/journal/edition-du-1604/industrie-et-services/403373/renault-veut-retrouver-30-du-marche-hexagonal-son-score-d-il-y-a-quinze-ans.html> (Page consultée le 16/04/2010).

- VERDEVOYE A-G. (2011.a), « Daimler et Bosch s'allient dans les moteurs électriques », *La Tribune*, Mardi 12 Avril 2011 [En ligne] (Page consultée le 12/04/2011).
<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20110412trib000614899/daimler-et-bosch-s-allient-dans-les-moteurs-electriques-.html>
- VERDEVOYE A-G. (2011.b), « PSA et BMW vont collaborer dans les véhicules hybrides », *La Tribune*, Mercredi 02 Février 2011 [En ligne] (Page consultée le 02/02/2011).
<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20110202trib000598081/psa-et-bmw-vont-collaborer-dans-les-vehicules-hybrides.html>
- VOLKSWAGEN (2010), *Annual report 2010*, Volkswagen AG, Mars 2010, 316 pages.
- WAKEFIELD E.H. (1994), *History of the Electric Automobile : Battery-Only Powered Cars*, Society of Automotive Engineers Press, Warrendale, 333 pages.
- WESTBROOK M.H. (2001), *The Electric Car : Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars*, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, 198 pages.
- WILLIAMSON O.E (1975), *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, The Free Press, New-York, 303 pages.
- WILLIAMSON O.E (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, The Free Press, New-York, 468 pages.
- WINTER S. (1984), « Schumpeterian competition in alternative technological regimes », *Journal of Economic Behavior and Organization*, n°5, pp.287-320.
- XERFI (2010), *L'autopartage en France à l'horizon 2015*, Alexandre BOULEGUE, Novembre 2010, 144 pages.

Partie 2 :

Le bien système « automobile électrique » : une appréhension par le concept de système d'électromobilité

À la fin du 19^{ème} siècle, lors de l'apparition du véhicule automobile, trois technologies de motorisation ont, pour un temps, cohabité. Si les AE à batteries et les véhicules à vapeur ont perduré, en petites séries, jusqu'aux années 1920 (Nicolon, 1984), le véhicule à moteur à combustion interne de pétrole – ou véhicule thermique – est rapidement devenu le standard technologique. D'après une lecture évolutionniste basée sur les modèles de compétition technologique conciliant l'histoire économique, la sociologie de l'innovation et l'économie du changement technologique (Foray 1989), le véhicule thermique doit ce statut à une série de phénomènes participant de la « construction » d'une dominance. En premier lieu, les promesses associées aux performances du moteur, et plus encore, aux performances et caractéristiques du couple formé par le moteur et son carburant ont contribué à focaliser les travaux de recherche et, par-là, les innovations, sur cette voie technologique (Delsey, 2008). En second lieu, du fait de sa position dominante, le véhicule thermique a différé le besoin, et finalement l'émergence, des solutions technologiques alternatives (Chanaron et Lung, 1995), notamment parce que l'automobile est devenue l'ossature du système de transport et, plus globalement, un élément fondamental de l'édifice sociétal de nombre de pays.

Cette entrée en matière souligne deux composantes essentielles de l'émergence de l'AE, à partir desquelles s'étaye notre approche systémique de son émergence et de sa diffusion. D'une part, le moteur à combustion interne s'associe à un carburant cumulant une densité massique et volumique sans concurrence avec une grande simplicité de stockage et d'usage. Il

convient ainsi d'appréhender les technologies de motorisation, non pas à l'aune de leurs seules propriétés intrinsèques, mais en considérant la performance de leur association aux carburants qui les alimentent. Dans le cas de l'AE, cette assertion est d'autant plus prégnante que l'électricité est un flux délicat à stocker et à transmettre par le biais d'une infrastructure de charge maillant un territoire. D'autre part, c'est l'amélioration constante, la co-construction et la co-évolution d'une technologie avec son « cadre d'usage », qui forme son « cadre de référence sociotechnique »⁴⁸ (Flichy, 1995) et verrouille la dominance du véhicule thermique.

Dans ce contexte propice au phénomène de « dépendance au sentier » (David, 1985), l'ancrage d'un nouveau produit ou technologie de nature « systémique »⁴⁹ dans le régime sociotechnique existant bute sur l'« alignement » (Geels et Schot, 2007) des sous-systèmes technico-économiques, des connaissances et des « manières de faire » qui composent et structurent le régime. Dans la littérature économique, cette problématique fait écho aux dynamiques de transition des systèmes sociotechniques, pour lesquelles l'analyse multi-niveaux (*Multi-level Analysis*) apporte un outillage et un éclairage pertinents.

Rappelons que l'analyse multi-niveaux s'inscrit dans une perspective évolutionniste (Geels, 2004) et qu'elle envisage les dynamiques de transition au carrefour des interactions entre les sphères technologique, économique, politique et sociétale. Elle se propose de comprendre les mécanismes par lesquels une innovation [système] émerge et remplace, transforme ou reconfigure le système existant (Geels, 2011). L'approche multi-niveaux conçoit la transition

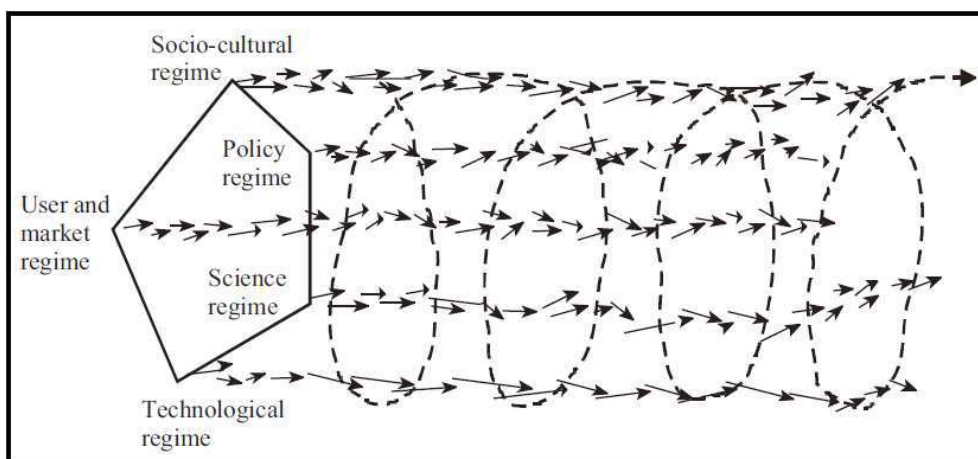
⁴⁸ Chez Flichy, le « cadre sociotechnique » est le compromis construit à partir de l'ajustement entre l'aspect technique du « cadre de fonctionnement » de la technologie et l'aspect socialisant de son « cadre d'usage ».

⁴⁹ Une innovation systémique se définit comme « *a new product or technology that requires changes in different elements connected together within the system in which it will be located* » (Teece, 1984, p.87). Elle s'apparente ainsi à une innovation radicale, consistant à introduire un nouveau concept, produit ou service qui s'écarte significativement des pratiques anciennes. Elle s'appuie, pour cela, sur une gamme de principes scientifiques nouveaux ou sensiblement améliorés (Manuel d'Oslo, 1992) et initie de nouveaux marchés et de nouvelles applications. Symétriquement, l'innovation incrémentale renvoie à l'affinage et à l'amélioration mineure de modèles et de conceptions antérieurs sur la base de principes scientifiques connus.

comme un processus non-linéaire émanant de l'intrication dynamique de mouvements à trois échelles, le méta-système sociotechnique exogène, les multiples régimes sociotechniques et les « niches ». Le niveau du régime est central car la transition marque le passage d'un régime [sociotechnique] à un autre. Il est ainsi un concept d'essence paradigmatique, dont la niche et le méta-système dérivent. La niche relève de pratiques ou technologies qui s'écartent significativement de celles façonnant le régime existant. Pour sa part, le méta-système se définit comme un contexte ou environnement externe qui influence les interactions entre les niches et le régime sociotechnique et qui ouvre, par-là, des opportunités d'affaires (Ibid.).

Le régime sociotechnique structure et articule un ensemble de règles qui coordonnent les activités de groupes sociaux reproduisant, en dynamique, les traits caractéristiques d'un régime donné. Ces traits prennent la forme de routines cognitives ou d'arrangements institutionnels, qui relèvent à la fois du média et du résultat, car en orientant les acteurs, ils engendrent les conditions de leur perpétuation (Geels, 2011). Les trajectoires sous-tendues n'interviennent pas seulement dans la sphère technologique, mais également culturelle, politique, scientifique, industrielle et marchande, qui co-évoluent (**Figure 20** : Alignement des sous-régimes composant un régime sociotechnique donné).

Figure 20 : Alignement des sous-régimes composant un régime sociotechnique donné :



Source : Geels, 2011, p.27

Le niveau de la niche fait notamment référence à une multitude de marchés sur lesquels la demande formulée est spécifique à l'égard des routines associées au régime sociotechnique dominant. Parce que le régime existant est stabilisé par des mécanismes de verrouillage et parce que les niches sont, dans une certaine mesure, discordantes vis-à-vis de ce régime, elles peuvent disparaître, végéter à l'état de niches, intégrer le régime dominant ou contribuer à le remplacer par un nouveau régime aux fondements et aux lois d'évolution foncièrement revus. Ce processus transite par des effets combinatoires, notamment reliés au développement de compétences, de biens complémentaires et d'innovations organisationnelles, de produits et de services qui engendrent et exploitent des opportunités expressément articulées au produit ou à la technologie formant la niche. Cette dernière constitue ainsi la graine (Schot et Geels, 2008), voire une matrice, de la transition des régimes sociotechniques, apte à modifier les bases sociotechniques d'accumulation et de réalisation des profits.

L'analyse multi-niveaux constitue une grille de lecture fort éclairante pour comprendre les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE, puisque « l'introduction du véhicule électrique semble être particulièrement complexe, dans la mesure où elle réclame la coordination d'une série de facteurs hétérogènes et néanmoins complémentaires, impliquant non seulement le secteur automobile dans sa totalité, mais également des éléments et des acteurs traditionnellement extérieurs à celui-ci » (Enrietti et Patrucco, 2011.a, p.3). Notre application de l'approche multi-niveaux à la thématique de l'émergence de l'EA et de son ancrage au régime sociotechnique dominant de la « mobilité carbonée », c'est-à-dire appuyée sur véhicule à moteur thermique, transite par l'usage du concept de système d'électromobilité.

Nous définissons un système d'électromobilité, à la manière de niches, c'est-à-dire comme des physionomies alternatives d'émergence de l'AE naissant d'un compromis entre **(1)** les

propriétés d'une technologie au sens large – ici le bien-système formé par l'AE, sa batterie et son infrastructure de recharge – dont le potentiel est actionné par **(2)** un soubassement d'infrastructures de nature variée (routière, électrique, énergétique, télécoms), dans le cadre **(3)** d'un régime d'usages adossé à un cadre spatio-temporel spécifique.

Au total, nous analyserons les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE au regard de la nature systémique de son émergence. Le **Chapitre 1** justifie une lecture de l'AE en termes de « bien-système » et identifie quatre types de systèmes d'électromobilité, qui seront explicités et détaillés dans le cadre du **Chapitre 2**. Le **Chapitre 3** analysera et formalisera la composition de l'écosystème, en focalisant son propos sur les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges, deux types d'acteurs contribuant à fluidifier l'inscription spatio-temporel de l'AE dans les usages et dans les mobilités des particuliers et des professionnels.

Chapitre 1 : Le « bien-système » : justification et grilles de lecture.

Vers la définition de « systèmes d'électromobilité ».

1. Le concept de « bien système » : justification et grille de lecture.

Un « bien-système »⁵⁰ renvoie, par définition, à la combinaison ou à l'intégration de plusieurs composantes élémentaires complémentaires (Perrot, 1995, p.8). D'un point de vue général, cette catégorie de produits fait écho à la réalité d'un système, c'est-à-dire à l'existence d'un ensemble d'éléments matériels et/ou immatériels qui sont inter-reliés et dont l'articulation déploie des potentialités dépassant celles des éléments qui le composent pris deux à deux. Trois dimensions façonnent ainsi les bien-systèmes. Il s'agit de la nature des éléments inter-reliés (produits, sous-systèmes, technologies, connaissances) et de la nature de leurs liens (technique, cognitive ; logique fonctionnelle ou économique), dans la tradition de l'économie de la modularité, mais également du champ [des potentialités] du bien-système. Cette dernière dimension structurera notre revue de la littérature, qui prendra les traits d'un inventaire théorique ordonné des multiples acceptions *ad hoc* du concept de bien-système. Nous montrerons, par la suite, que ces propriétés se cristallisent sous la forme de quatre modèles alternatifs d'émergence des systèmes d'électromobilité.

Afin de répertorier les acceptions du bien-système apparaissant çà-et-là dans la littérature économique, ainsi que pour en repérer et en décrire les traits saillants, nous axons notre approche sur le champ des potentialités des bien-systèmes. D'après une démarche empruntée à Moati et al. (2006), le « champ » renvoie, d'une part, aux fonctions que le bien-système se

⁵⁰ Dans les travaux en sciences économiques, le terme de bien-système est parfois substitué par ceux de « bien composite » (ou *composite good* – Hicks, 1939 ; Economides et Viard, 2008) et de « bien complémentaire » (ou *complementary good* – Matutes et Regibeau, 1992 ; Economides et Salop, 1992).

propose de remplir⁵¹ et, d'autre part, à la gamme des effets utiles – entendus comme unité de besoin – qu'il produit. Nature et périmètre des fonctionnalités des bien-systèmes sont les clés de voûte de notre analyse et les critères permettant d'isoler trois orientations dans lesquelles s'inscrivent les diverses configurations de bien-système (**Tableau 33** : Une typologie des bien-systèmes). Nous les nommons respectivement orientations « produit », « bouquet » et « intersectorielle ».

Tableau 33 : Une typologie des bien-systèmes :

Orientation	Produit	Bouquet	Intersectorielle
Périmètre des fonctionnalités	Cantonné au produit	Etendu par l'ajout de biens et services	Augmenté par le croisement de biens, services et réseaux physiques
Propriété des fonctionnalités	Isomorphisme avec le produit	Ensemble de fonctionnalités « homogènes »	Ensemble de fonctionnalités « hétérogènes »
Nature des éléments inter-reliés	Sous-systèmes ou produits	Biens et services aux marchés propres	Biens, services et réseaux physiques
Propriété des éléments inter-reliés	Solidarité dans l'usage	Complémentarité dans l'usage	Complémentarité séquentielle
Nature des liens entre éléments	Essentiellement technique	Fonctionnelle	Technique et fonctionnelle

Source : Représentation de l'auteur

Dans l'orientation « produit », le bien-système s'assimile à un produit complexe agrégeant des sous-systèmes (ou produits) complémentaires qui sont solidaires dans l'usage. La caractéristique principale de cette catégorie de biens repose sur l'existence d'une bijection entre le produit et la fonction qu'il remplit. L'étendue (ou le périmètre) des fonctionnalités du bien-système façonne un « champ de validité du produit » étroit ou large. Dans le cas de

⁵¹ Pour Henderson et Clark (1990), l'analyse du fait innovant se rapporte au registre fonctionnel. Les modèles-types d'innovation s'appuient ainsi sur deux unités de mesure, la modification des connaissances architecturales des firmes et la modification des composants du produit, lesquels assurent une fonction spécifique. C'est alors le degré de refonte des fonctionnalités d'un produit qui mesure le caractère incrémental ou radical de l'innovation.

l'orientation « produit », le champ de validité – qui s'apprécie géographiquement et à l'égard des fonctionnalités – est étroit, tandis que les orientations « bouquet » et « intersectorielle » renvoient aux innovations dites « extensives » (Eiglier et Langeard, 1987), qui consistent en l'adjonction de services ou de fonctions élémentaires.

Dans l'orientation « bouquet », le bien-système s'assimile à un ensemble de biens et services disposant d'une demande distincte, c'est-à-dire de leurs propres marchés, mais qui ont la particularité d'être complémentaires dans l'usage (Moati et al., 2006). La caractéristique principale de cette catégorie de bien-systèmes repose sur le fait que les biens et services qui le composent concourent à satisfaire un même type de besoins⁵². Sur ce registre utilitaire, les liens qui unissent les composantes relèvent d'un principe de cohérence fonctionnelle, en étendant les effets utiles du bien-système par l'ajout de biens et services complémentaires satisfaisant une fonction homogène⁵³. De la sorte, le champ de validité du produit est étendu.

Dans l'orientation « intersectorielle », le bien-système s'assimile à un ensemble de biens, services et réseaux physiques dont la complémentarité est d'ordre séquentiel. La principale caractéristique de cette catégorie de bien-systèmes repose sur le fait que les biens, services et réseaux physiques qui le composent satisfont deux ou plusieurs types de besoins distincts. Les besoins sont dits distincts lorsqu'ils ne remplissent pas une fonction homogène, ou bien lorsqu'ils remplissent une ou des fonction(s) qui n'est/ne sont pas usuellement assurée(s) par le produit. Les effets utiles du bien-système, de même que son champ de validité, sont ici comme augmentés par le croisement de biens, services et réseaux physiques.

⁵² Par exemple, à la vente d'un véhicule par un concessionnaire peut s'ajouter un contrat d'entretien, une reprise de l'ancien véhicule, etc. La fonction étendue est cohérente par rapport aux fonctions usuelles du produit.

⁵³ Notons que la typologie en termes de fonctionnalités étendues ou augmentées s'inspire des travaux de Barcet et al. (1984), dans le registre économique et de Shocker et al. (2004), dans le registre marketing.

Afin d'ordonner l'inventaire des configurations de bien-systèmes, qui s'inscrivent dans les trois orientations ébauchées, nous voulons adopter un positionnement épistémologique clair. Dans le champ des sciences économiques, une vaste littérature aborde les thématiques des trajectoires industrielles et des changements technologiques, sans toutefois placer l'emphasis sur les bien-systèmes. Dans notre entreprise de compréhension de l'émergence de l'AE, de ses régimes d'usage et de la structuration de son industrie, les travaux d'économie industrielle – particulièrement ceux qui sont issus du phylum évolutionniste – sont susceptibles de nous éclairer, à travers leur appétence pour l'analyse des processus dynamiques, notamment à travers les apprentissages, les stratégies et les structures organisationnelles. Si cette deuxième partie puisera abondamment dans la littérature évoquée, elle s'ouvrira ponctuellement à d'autres sources. A certains égards, les travaux d'économie industrielle s'avèrent, en effet, imparfaits ou incomplets⁵⁴. Pour pallier ces limites et parvenir à repérer et décrire les traits saillants des bien-systèmes auxquels peuvent s'assimiler les systèmes d'électromobilité, nous mobiliserons également des approches systémiques et issues des sciences de gestion.

En vue de définir plus précisément le concept de bien-système et de le situer par rapport à une mosaïque de notions voisines sur lesquelles il se superpose pour partie, nous proposons de passer en revue les multiples acceptions du bien-système jalonnant la grille de lecture proposée en termes d'orientations « produit », « bouquet » et « intersectorielle ». Chacune de ces orientations soulève des questionnements spécifiques et apporte des éclairages partiels. La démarche adoptée est ainsi d'aborder successivement les orientations repérées afin de mieux en comprendre les propriétés respectives. Une fois explicité le sens profond de ces diverses

⁵⁴ Notamment, Greenstein et Khanna (1997) relèvent que les analyses en termes de cycles de vie des industries ou de *dominant design* (Utterback et Abernathy, 1975 ; Utterback et Suarez, 1993), souvent privilégiées par les travaux évolutionnistes, considèrent les évolutions industrielles dans la limite des frontières des secteurs considérés. Aussi, elles ne parviennent pas à apprécier toute la richesse et la complexité des phénomènes associés à l'émergence d'un bien-système, En particulier lorsqu'il s'inscrit dans l'orientation « intersectorielle ».

acceptions prélevée, nous disposerons d'un soubassement théorique et d'un nuancier utile pour comprendre les modalités d'émergence, de production et de diffusion des bien-systèmes.

L'extrapolation de ces éléments de cadrage théorique et leur transposition au cas des systèmes d'électromobilité introduiront quatre modèles génériques d'émergence de l'AE, dénommés « substitution rigide », « substitution flexible », « autopartage » et « multiface »⁵⁵. Précisons que les systèmes d'électromobilité représentent des physionomies alternatives d'émergence de l'AE qui s'ancrent au régime sociotechnique dominant, du moins à un niveau territorial. Ils se définissent comme des ensembles cohérents, c'est-à-dire intégrés, **(1)** d'une technologie au sens large – en termes d'AE, de batterie et infrastructure de charge – ayant ses qualités et ses défauts, dont le potentiel est actionné par **(2)** un soubassement d'infrastructures de nature variée (routière, électrique, énergétique, télécoms), dans le cadre **(3)** d'un régime d'usages spécifiques par ses propriétés spatio-temporelles. En termes d'analyse multi-niveaux, chacun de ces systèmes d'électromobilité représente, à notre sens, une niche de marché susceptible d'imprégner puis de se substituer au régime sociotechnique dominant.

Au total, un tel examen fera émerger, dans cette première section, une série d'indications de nature générale sur le concept de bien-système et sur leur traduction au cas de l'industrie de l'électromobilité, de même que des éléments définitionnels sur les trois orientations repérées.

⁵⁵ La terminologie « multiface » sera explicitée dans le cadre du **Chapitre 3**, s'intéressant aux modèles d'affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges, vecteurs de chevauchements sectoriels.

2. Orientation « produit » et principes régissant la production des bien-systèmes.

Dans l'orientation « produit », le bien-système s'assimile à un produit complexe composé de sous-systèmes, modules ou produits complémentaires qui sont solidaires dans l'usage et dont les effets utiles sont cantonnés aux seules fonctionnalités du bien. Deux types d'approches, qui prennent leur source dans le champ de l'économie industrielle, s'inscrivent dans cette orientation. Il s'agit de la notion de « bien complexe » et du concept de *Complex Product System*, desquels nous tirons deux enseignements sur la singularité des bien-systèmes et pour les systèmes d'électromobilité. En premier lieu, nous allons voir que l'intérêt de l'orientation « produit » réside dans la spécificité des principes de production de biens [systèmes], dont le degré de proximité technologique et/ou cognitive des composantes oriente en partie les arrangements organisationnels au sein de l'industrie de l'électromobilité. En second lieu, la seconde valeur ajoutée de ce développement est l'introduction de deux modèles idéal-typiques d'émergence de l'AE, les modèles « substitution rigide » et « substitution flexible ».

2.1. Approches en termes de « bien complexe » et de *Complex Product System*.

Une caractérisation du bien-système.

La notion de « bien complexe » et le concept de *Complex Product System* (CoPS), qui représente seulement une catégorie de « bien complexe », permettent tous deux de mieux appréhender l'orientation « produit » et la spécificité des bien-systèmes. Notons que le « bien complexe » ne se situe pas au centre d'un développement théorique ordonné. S'il n'en existe pas de définition ou de typologies harmonisées (Persson et Ahlström, 2005), deux niveaux de lecture peuvent néanmoins permettre de dessiner les contours des produits complexes.

Une première série de travaux s'attache à décrire ce qui fait la complexité du bien-système. En première approximation, il est possible de concevoir le bien complexe comme « un bien dont le processus de production est intensif dans l'usage d'inputs fortement spécialisés et personnalisés » (Ferguson et Formai, 2009, p.3). Pour préciser cette définition, Catel et Monatéri (2007) soulignent le caractère tout à la fois « multi-composants » et « multi-technologies » des intrants qui composent le bien complexe. Il s'avère ainsi que la complexité du bien complexe dérive – tout à la fois – de la multiplicité et de l'hétérogénéité des intrants.

Dans une démarche alternative, certains auteurs s'appliquent à comprendre et à décrire la nature des interdépendances entre les composantes du bien complexe. Ce dernier s'assimile alors à « un système appliqué doté de multiples composants en interaction et qui constituent un tout non décomposable » (Mitchell et Singh, 1996, p.170). La propriété de « non décomposabilité » interpelle et fait écho à l'approche en termes de modularité du produit. C'est dans cet esprit que Ulrich et Eppinger (2000) définissent le bien complexe par opposition au bien modulaire. Si dans le cas du bien modulaire, les frontières physiques entre les composants (ou modules) correspondent à leurs propriétés fonctionnelles, de sorte que chaque module est fonctionnellement autonome et indépendant (Ulrich, 1995), dans le cas du bien complexe, les frontières physiques et les fonctions ne se confondent pas. Dans cette configuration, l'architecture du produit prend le qualificatif de « systémique »⁵⁶.

Le *Complex Product System* (CoPS) n'est pas un substrat du bien complexe, mais un bien complexe aux caractéristiques spécifiques. Pour Hobday et Rush (2000), les CoPS ont deux principaux traits saillants. En premier lieu, ils sont constitués de sous-systèmes interconnectés intensifs en technologies. En second lieu, ils sont conçus et réalisés pour un client ou un

⁵⁶ Des terminologies alternatives à ce qualificatif sont parfois préférées. On parlera d'architecture « globale » (Frigant, 2005), « intégrale » (Bargigli, 2005), ou encore, « interdépendante » (Baldwin et Clark, 2006).

marché déterminé, si bien que leurs performances sont spécifiées pour satisfaire une utilisation particulière. Ainsi défini, un CoPS peut prendre la forme d'un moteur d'avion, d'un simulateur de vol, ou autres systèmes de gestion des réseaux de télécommunications. Du croisement entre ces deux traits saillants découle la caractéristique centrale des CoPS. Cette caractéristique est d'être conçue sur un mode « projet », dont la singularité est d'associer étroitement et précocement un ensemble de parties prenantes (usagers, producteurs, fournisseurs et/ou régulateurs) qui travaillent de concert et par tâtonnement sur la définition des produits et des méthodes de production (Hobday, 2000).

Les deux contributions précédentes appréhendent le bien-système par la structure du produit. Elles soulignent que la complexité des produits complexes découle tant de l'interdépendance de leurs intrants – en termes de composants et de technologies – que de la multiplicité et de l'hétérogénéité de ces derniers. De fait, les approches par le « bien complexe » et les CoPS placent la focale sur les principes de production des bien-systèmes⁵⁷. A ce titre, l'orientation « produit » est une entrée enrichissante pour favoriser la compréhension des arrangements organisationnels en cours et attendus dans l'industrie de l'électromobilité. L'architecture de technologies sophistiquées, couplée au niveau de complexité des produits, délimite en effet en partie les frontières industrielles et contribue à faire émerger des mécanismes de coordination complexes entre les acteurs qu'il est utile de décrypter (Barlow et Jashapara, 1998).

⁵⁷ Dans cet état d'esprit, pour le cas des CoPS, « ce n'est pas tant la complexité physique du produit qui est en cause, mais le fait que la formation de l'offre implique l'appel à une architecture de technologies sophistiquées et hétérogènes, et fait émerger des mécanismes de coordination complexes » (Moati et al., 2006, p.34).

2.2. Complexité et plateformes d'innovation : une analogie aux systèmes d'électromobilité.

Cerner les multiples dimensions de cette complexité, dont la particularité réside en l'espèce dans le faible degré de proximité technologique et cognitive des composantes des bien-systèmes, suppose notamment de questionner l'organisation de la production associée à l'architecture sophistiquée de tels produits. A ce titre, au moins trois propositions procèdent de la littérature portant sur les « bien complexes » et sur les CoPS. En premier lieu, la nature « multi-composants » du bien-système induit l'existence d'interactions nourries entre les acteurs mobilisés dans la conception du produit. En second lieu, la nature « multi-technologies » du bien-système impose la combinaison, l'ordonnancement et la mise en cohérence de l'ensemble des apports et compétences propres à chacune des parties prenantes. Enfin, dans le cas des CoPS, on soulignera le rôle central des clients et usagers, dont les attentes spécifient les fonctionnalités du produit.

L'intégration de briques de connaissances et de savoir-faire spécifiques et complémentaires dans la conception des biens complexes, pour lesquels les apprentissages organisationnels et technologiques sont discontinus (Barlow et Jashapara, 1998), transite le plus fréquemment par des partenariats entre acteurs, sur le mode « projet » (Hobday, 2000). L'émergence des systèmes d'électromobilité s'appuie d'ailleurs sur des consortiums de partenaires issus de secteurs distincts et même « distants », par la faible proximité des soubassements techniques propres aux secteurs. Pour Enrietti et Patrucco (2011.b), la réussite de l'AE dépend ainsi de l'adoption de la forme organisationnelle la plus appropriée à la difficulté de mobiliser en commun des acteurs dans le cadre d'un processus complexe et distribué. Cette complexité oriente la délimitation des frontières de l'industrie de l'AE, constituée d'acteurs anciens et

nouveaux. Enrietti et Patrucco (2011.b) montrent que l'intégration, la coordination et le pilotage d'acteurs aussi différents que les constructeurs automobiles, les gestionnaires d'infrastructures, les intégrateurs systèmes, les producteurs de batteries ou les laboratoires de recherche publics et privés, repose sur l'émergence de plateformes d'innovation.

Les plateformes d'innovation représentent une nouvelle forme d'organisation des activités en réseau, qui semble notamment émerger en réponse aux problématiques imposées par les systèmes d'électromobilité (Enrietti et Patrucco, 2011.b). Pilotée par un leader qui emprunte une approche transversale et qui coordonne les interactions entre les parties prenantes, ce type de plateforme compte deux propriétés (Patrucco, 2012). D'une part, chacun des acteurs est en mesure de profiter des échanges opérés au sein du réseau. D'autre part, cette configuration repose sur un processus de décision centralisé dont le niveau d'efficacité est analogue aux décisions prises par les entreprises verticalement intégrées. Sur ce format, un certain nombre de plateformes communes, partagées par les industriels, ont été mises en place par les pouvoirs publics⁵⁸ ou bien sont initiées par les industriels eux-mêmes⁵⁹.

Si chaque plateforme d'innovation se distingue par sa composition et son périmètre (Enrietti et Patrucco, 2011.b), chacune vise généralement à promouvoir la mobilité électrique en réorientant l'industrie automobile – particulièrement équipementière – vers la problématique de l'électromobilité. A cette fin, elles ont notamment pour objet de poser des jalons techniques, économiques et en termes de normalisation. Le volet technique a trait aux recherches sur les technologies de batteries et sur la motorisation électrique, ainsi qu'aux

⁵⁸ La première plateforme d'innovation focalisée sur l'AE est la *Nationale Plattform Elektromobilität*, créée en Mai 2010 en Allemagne. En Juillet 2012, la Chine a annoncé son intention de développer une stratégie analogue. A l'échelle régionale, nombre de plateformes ont été introduites par les pouvoirs publics, notamment en France, où l'Institut VeDeCoM (Véhicule Décarboné Communicant et sa Mobilité) rassemblera, en 2015, des industriels, universités, centres de recherche technique et autres communautés urbaines à Versailles-Satory (Yvelines).

⁵⁹ Dans une configuration alternative à cette démarche « *Top-down* », la logique « *Bottom-up* » prend la forme de plateformes initiées et pilotées par un industriel jouant le rôle de chef de file, sur l'exemple de l'entreprise Better Place et de Renault depuis 2008 en Israël (Aggeri, Elmquist et Pohl, 2009 ; Beaume et Midler, 2009).

certifications techniques. Le volet économique concerne les modèles d'affaires associés à l'AE, de même que l'évolution des formations et des qualifications de la main d'œuvre. La normalisation s'adresse en priorité aux infrastructures de charge, sur le thème de la standardisation des interfaces physiques (connexions et branchements) et logiciels (protocoles de communication) avec les utilisateurs. Ces plateformes jouent ainsi un rôle majeur dans le processus d'alignement du système sociotechnique de l'AE au régime dominant.

2.3. Introduction aux modèles « substitution rigide » et « substitution flexible ».

Parallèlement à la problématique des arrangements originaux qui s'opèrent entre les acteurs de l'industrie de l'électromobilité, l'orientation « produit » du bien-système permet d'esquisser les traits de deux modèles idéal-typiques d'émergence des systèmes d'électromobilité, l'AE pouvant s'apparenter, sous certaines conditions, à un CoPS.

De manière générique, le modèle « substitution » correspond au remplacement des véhicules à moteur à explosion par l'AE. Dans le détail, nous définissons deux modèles, dont les contours sont précisés plus avant. Le modèle « substitution rigide » concerne la substitution pour le cas spécifique des déplacements prédéfinis, tels que les déplacements en site propre ou les tournées. Le modèle « substitution flexible » renvoie, pour sa part, aux types d'utilisations traditionnelles d'un véhicule. Dans ces deux configurations, l'AE s'assimile à un CoPS, notamment parce que ses spécifications techniques, en termes d'architecture et de performances, sont ajustées aux besoins des clients finaux. En ce sens, on parle de bijection entre les spécifications du produit et les fonctions qu'il remplit.

De cette propriété bijective découle un champ de validité étroit pour les bien-systèmes qui appartiennent à l'orientation « substitution ». Pour les systèmes d'électromobilité, le champ de validité s'apprécie géographiquement et à l'égard des fonctionnalités. Sur la dimension géographique, les capacités de stockage des batteries de l'AE limitent son autonomie et le cantonne à des trajets de courte distance, majoritairement urbains ou périurbains dans le cas du modèle « substitution flexible », et sur des distances moyennes mais prédéfinies pour le modèle « substitution rigide ». L'approche fonctionnelle souligne l'usage davantage contraint et rigide de l'AE, par rapport à l'usage polyvalent et flexible de son homologue thermique. Ce dernier n'est pas pénalisé par une durée de charge (un plein d'essence) conséquente et reste intrinsèquement moins tributaire de l'accès aux bornes de recharge (aux pompes à essence).

Dans ces paragraphes dévolus à l'orientation « produit » du bien-système, nous avons repéré deux types de littérature en économie industrielle, à partir desquelles a été tirée une série d'enseignements sur la nature des bien-systèmes et pour le cas des systèmes d'électromobilité. En premier lieu, nous avons souligné la spécificité des principes de production de biens (systèmes) dont le degré de proximité technologique et cognitive des composantes oriente en partie les arrangements organisationnels, y compris dans l'industrie de l'électromobilité. La nature « multi-composants » et « multi-technologies » du bien-système induit des interactions nourries entre un nombre conséquent d'acteurs, dont les apports et compétences doivent être combinés, ordonnés et mis en cohérence. A cet égard, les plateformes d'innovation semblent émerger en réponse aux problématiques associées aux systèmes d'électromobilité, c'est-à-dire l'intégration et la coordination de constructeurs automobiles, gestionnaires d'infrastructures, intégrateurs systèmes, producteurs de batteries et de laboratoires de recherche (Enrietti et Patrucco, 2011.b). En second lieu, nous avons introduit les modèles « substitution rigide » et « substitution flexible » d'émergence de l'AE par une analogie aux CoPS, dont la singularité

provient du rôle central tenu par les clients et usagers spécifiant les fonctionnalités du produit en fonction de leurs attentes. Ces modèles font l'objet d'une analyse plus fouillée par la suite.

L'orientation « produit » s'est évertuée à appréhender les principes de production du bien-système et à souligner la physionomie des agencements organisationnels que l'industrie de l'électromobilité porte en germe. Dans un exercice de compréhension des stratégies menées par les industriels qui investissent le champ de l'électromobilité, nous proposons désormais d'aborder l'orientation « bouquet » du bien-système.

3. Orientation « bouquet » et structuration d'une offre de bien-système.

Dans l'orientation « bouquet », le bien-système s'assimile à un produit dont les effets utiles sont étendus par l'ajout de biens et services interdépendants dans l'usage et concourant à remplir une fonction homogène, c'est-à-dire satisfaisant une même catégorie de besoins. Au sein de ce développement, nous mobiliserons deux types de littérature qui, chacun, assurera un éclairage partiel et complémentaire. D'abord, une approche en termes d'économie des bouquets (Moati et al., 2006) abordera la question de la structuration du bien-système. Par le biais du concept de *product-bundling* (Adams et Yellen, 1976), nous introduirons les notions d'intermodalité et de multimodalité et en extrapolerons plusieurs enseignements pour les systèmes d'électromobilité. Ensuite, nous porterons notre attention sur l'approche de l'économie de la fonctionnalité (Stahel et Giarini, 1989), se déclinant sous la forme du concept de *Product-Service System*. Grâce à ce dernier, nous défricherons un autre modèle idéal-typique d'émergence de l'AE, le modèle « autopartage ». Il fait référence à un bouquet de transports dont l'AE, en autopartage, constitue un maillon et relate certaines évolutions de l'industrie de l'AE, marquées par l'apparition des « opérateurs de mobilité électrique ».

3.1. L'économie des bouquets et le product bundling.

Historiquement, l'économie des bouquets résulte d'une démarche inductive répondant à l'essor des prestations de services à l'intention des particuliers et des entreprises. Par exemple, dans le secteur de l'énergie, les acteurs du marché (EDF, GDF,...) sortent alors de leur simple rôle de fournisseurs d'énergie et se positionnent en tant qu'offres de bouquets tournés vers l'optimisation de la consommation d'énergie et du confort domestique de leurs clients (Moati et al., 2006, p.13)⁶⁰. L'élément commun aux offres commerciales répondant à la logique de bouquet est ainsi de proposer au client un ensemble de biens (et/ou de services), ordinairement vendus séparément, sous une forme intégrée. Sur cette base, le bouquet se définit comme « une offre commerciale portant sur un ensemble de produits (biens ou/et services), dont chacun fait l'objet d'une demande distincte et est associé à un marché spécifique, et qui sont complémentaires dans la production d'effets utiles correspondant à une fonction particulière pour le destinataire » (Ibid., p.10). Précisons que le bouquet est une offre composite ancrée dans un contexte historique, économique et social particulier⁶¹.

Le postulat de base de tout bouquet est que l'ensemble a plus de « valeur », en termes d'effets utiles et de valorisation commerciale, que la somme des parties. Aussi, en s'efforçant de différencier leurs produits de ceux de la concurrence, les producteurs qui développent des stratégies de bouquet substituent la concurrence par les produits à la concurrence en prix (Abraham-Frois, 2004) et s'écartent d'une situation dans laquelle le prix d'équilibre est issu

⁶⁰ D'autres exemples, tirés de Moati et al. (2006), peuvent être rapportés, tels que le rasoir avec son lot de lames de rechange, les abonnements *quadruple play* (Internet, télévision et téléphonies fixe et mobile) auprès des opérateurs télécoms, ou encore les services de vacances associant vol, location de voiture et réservation d'hôtel.

⁶¹ Par exemple, il n'y a pas lieu de considérer une voiture comme un bouquet, en dépit du fait qu'elle intègre des éléments disparates (sièges, pneus, garantie constructeur) car ces composantes participent de la définition même du produit automobile. En revanche, l'ensemble constitué d'une voiture, d'un plan de financement, d'un contrat d'entretien et d'une assurance forme un bouquet car il existe un marché spécifique pour chacun de ces éléments.

du seul jeu en prix et en quantités. De la sorte, ils s'inscrivent dans une « concurrence monopolistique » (Chamberlin, 1933 ; Robinson, 1933).

Pour saisir la réalité variée, multiforme, voire protéiforme des bouquets, nous privilégions un angle d'attaque situé à la croisée de l'économie et du marketing. Pour étayer cette assertion et pour apprécier les bien-systèmes répondant à l'orientation « bouquet », c'est-à-dire des produits aux effets utiles étendus par l'ajout de biens et services interdépendants dans l'usage et concourant à satisfaire une même catégorie de besoins, nous empruntons à la littérature marketing le concept de *bundle* ou « offre groupée » (Adams et Yellen, 1976 ; Schmalensee, 1982 ; 1984). A partir d'une démarche typologique, cette approche permet de mieux cerner les modalités de structuration d'un bien-système et les modalités de coordination de ses composantes.

Le concept de *product bundling* (ou vente combinée) se définit comme une stratégie visant à « offrir deux produits distincts ou plus sous la forme d'un package » (Stremersch et Tellis, 2002). En d'autres termes, il s'agit de la vente de plusieurs produits ayant un marché propre sous la forme d'un produit combiné⁶². Plus précisément, des produits sont considérés comme distincts lorsqu'une demande existe pour chacun des produits pris en dehors du bundle (Kobayashi, 2005). Sur la base de cette définition, Stremersch et Tellis (2002) distinguent deux dimensions du *bundle*. Il s'agit de la forme du *bundle* (ou *product form*) et de son champ (ou *bundling focus*). La forme du *bundle* fait référence au couplage tarifaire. Le *bundle* est pur, lorsque les produits peuvent être achetés uniquement de manière solidaire sous la forme

⁶² Outre la vente combinée, on notera l'existence de stratégies de vente liée (ou *tying* - Whinston, 1990 ; Carlton et Waldman, 2002). Cette pratique consiste à faire de la vente d'un bien ou d'un service, appelé « liant », une condition *sine qua non* de l'achat d'un second bien ou service, dit « lié » (Carlton et Waldman, 2002). Par opposition au *bundle*, le produit lié ne peut se prévaloir d'un marché propre car ce dernier est « virtuellement » confondu avec celui du produit liant. Pour autant, ces deux concepts s'avèrent assez proches.

d'un « package ». Le *bundle* est mixte, si le bien système peut être acheté indifféremment sous la forme d'un bouquet, ou bien si chacune des composantes est accessible isolément.

Le champ du *bundle* fait intervenir une autre distinction. Lorsqu'une firme pratique une stratégie de *bundle* en prix, elle vend deux produits distincts ou plus dans un package dont les composantes sont simplement superposées, sans autre forme d'interaction ni d'intégration. Ce *bundle* est exclusivement commercial. Lorsqu'une firme pratique une stratégie de *bundle* en produit, elle vend deux produits distincts ou plus dans un package dont les biens et/ou services sont intégrés, si bien que la valeur ajoutée pour le client est étendue en fonction du degré de complémentarité existant entre les composantes du *bundle*. Ce *bundle* n'est pas uniquement de nature commerciale, mais également technique. Ces deux cadres typologiques marquent une incartade théorique sur le terrain de la structuration du bien-système et de la coordination entre ses composantes.

Les distinctions opérées dans la forme et le champ des *bundles* sont importantes car elles renvoient, dans une certaine mesure, au caractère ouvert ou fermé des systèmes. Dans un système fermé (également qualifié d'isolé), qui s'apparente au *bundle* pur et au *bundle* en produit, il n'y a pas d'échanges possibles entre le système et son environnement, car les composantes sont intégrées et non modulables, de sorte qu'elles ne peuvent être substituées par un autre produit (bien ou service) aux propriétés semblables. Par opposition, le système ouvert est perméable. Il échange en informations et en « matériaux » avec son environnement, puisque ses composantes sont techniquement disjointes. Par analogie aux systèmes d'électromobilité, nous allons voir que le système fermé se rapporte à la notion d'intermodalité, tandis que le système ouvert se rapporte à la notion de multimodalité.

3.2. Intermodalité, multimodalité et bouquets de transports.

Si les notions d'intermodalité et de multimodalité suggèrent toutes deux la combinaison [alternative] de plusieurs modes de transports distincts lors d'un même déplacement⁶³, elles se différencient par leurs objectifs et leurs enjeux. Tandis que l'intermodalité tend à « minimiser la contrainte liée à la discontinuité de l'offre » (Souchon, 2006, p.6) et place ainsi l'emphase sur la problématique de la coordination des modes de transport composant les systèmes de transport, la multimodalité « cherche à optimiser l'usage de la gamme de transport disponible en jouant sur les avantages de performance intrinsèques de chaque mode » (Ibid.) et déborde sur la question de la combinaison des composantes. Un raisonnement en termes de différenciation des produits, propre à l'approche de la « concurrence monopolistique », précise ici les conditions et modalités de la coordination et de la combinatoire entre les modes de transport qui composent les bouquets de transport.

La différenciation horizontale entre les produits renvoie aux versions d'un même bien ou service offert par des firmes distinctes. Par analogie aux systèmes d'électromobilité, la différenciation horizontale fait référence à des modes de transport substituables, étant entendu que la substituabilité est éminemment territorialisée et temporellement « située »⁶⁴. La différenciation verticale renvoie à la qualité des produits émanant de diverses firmes. Par analogie aux systèmes d'électromobilité, elle fait référence à des modes de transport aux performances différenciées. Fort logiquement, l'intermodalité est associée à la différenciation verticale des modes de transport et, à l'inverse, la multimodalité est surtout associée à la

⁶³ La notion de « comodalité » a été introduite par la Commission Européenne en 2006. Située au croisement de l'intermodalité et de la multimodalité, elle désigne le recours efficace à différents modes de transport isolément ou en combinaison. Elle recouvre à la fois une dimension physique, la mise en relation fonctionnelle de modes de transport distincts, et une dimension informative, l'information des usagers sur l'offre de transport disponible.

⁶⁴ En milieu urbain congestionné, la voiture – électrique ou non – est parfaitement remplaçable par un moyen de locomotion doux, du type vélo ou rollers. *A contrario*, en milieu périurbain, ces modes de transport diffèrent très sensiblement par leurs performances respectives.

différenciation horizontale. En effet, au gré de la combinatoire entre les modes de transport, les consommateurs peuvent concevoir des bouquets en phase avec leurs attentes⁶⁵.

Ramenée aux systèmes d'électromobilité, la question de la coordination et de la combinatoire entre les composantes des bouquets de transport repose sur deux fondements. En premier lieu, l'interopérabilité des systèmes transite impérativement par le déploiement et la mise en valeur de nœuds intermodaux, telles que les gares ferroviaires, servant d'interfaces physiques entre les modes de transport. En second lieu, elle souligne la nécessité de procéder à des remontées informationnelles afin de façonner des systèmes d'électromobilité communicants. Ces systèmes d'information, capitalisant sur des protocoles de transmission standardisés⁶⁶, cumulent plusieurs propriétés.

D'abord, ces systèmes d'information sont partagés par toutes les parties prenantes de l'intermodalité et de la multimodalité, les opérateurs de transport comme les utilisateurs. Dans ce cas de figure, chaque acteur est en mesure d'apporter son concours, dans une logique collaborative fondée sur l'*Open-Data*, c'est-à-dire une information librement accessible et réutilisable. Si de telles démarches butent, pour le moment, sur des contraintes d'ordre techniques, en particulier le traitement et le stockage de gros volumes de données, mais également économiques, en termes de modèles d'affaires, elles sont appelées à investir les multiples acteurs intervenant à tous les niveaux de la chaîne de valeur de l'industrie de l'AE⁶⁷.

⁶⁵ Précisons que le modèle « autopartage » fait référence à des systèmes d'électromobilité agrégeant une multitude de modes de transport intégrés dans un bouquet. Dans cette acception, l'intermodalité et la multimodalité ne renvoient pas aux trajets cumulant utilisation d'un véhicule personnel et utilisation de transports en commun, mais l'usage d'une AE sous le format de l'autopartage.

⁶⁶ Les ITS (*Intelligent Transport Systems*) sont des applications des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) dans les transports. Ils permettent notamment de mettre en place une gestion dynamique de la circulation, une information trafic en temps réel, ou encore, le positionnement par satellite des véhicules.

⁶⁷ Parmi ces acteurs, on distingue les opérateurs publics et privés de réseaux de transport et de télécoms (*TomTom, Coyote, Google, Pages Jaunes*), ainsi que différents acteurs industriels (infrastructures immobilières – *Vinci* ; grande distribution, etc.) et publics (*Open Street Map*).

Ensuite, ces systèmes d'information doivent être actualisés en temps réel afin de contrôler la justesse et la pertinence des informations relayées. Dans ce cadre, le modèle « autopartage », ancré dans l'orientation « bouquet », renvoie à un continuum de systèmes d'électromobilité dont la constitution, la régulation et l'utilisation des données sont expressément calibrées aux territoires. La donnée, dans sa dispersion dans l'espace et dans le temps, constitue en effet la clé de voûte de la compréhension des flux de déplacements. Son contenu n'est pas trivial et sa première variable d'enrichissement est son « géocodage », c'est-à-dire sa capacité à localiser l'information. L'actualité se conjugue à la localité de la donnée pour produire une trame circonstanciée, vivante, dynamique, organique⁶⁸.

3.3. Economie de la fonctionnalité et modèle « autopartage ».

Jusqu'ici, le traitement du modèle « autopartage » s'est appuyé sur l'économie des bouquets (Moati et al., 2006), dont la particularité est de ne pas appréhender l'AE isolément, mais de l'envisager comme l'un des maillons d'un système global d'électromobilité, dont les effets utiles dépassent le véhicule et sont étendus par l'adjonction ou l'intégration de biens (d'autres modes de transport) et de services (les systèmes d'informations intelligents et collaboratifs). Ce cadre théorique gagne à être croisé à l'approche de l'économie de la fonctionnalité (ou *service economy* - Stahel et Giarini, 1989), ici structurée autour du concept de *Product-Service System* (ou système produit-service), car elle précise le format sous lequel l'AE est proposée au sein des bouquets de transports. A partir de ce croisement, nous défrichons un deuxième modèle idéal-typique d'émergence de l'AE, le modèle « autopartage ».

⁶⁸ Cette assertion est inspirée d'une citation de Bruno MARZLOFF, lors du colloque DatAct – Open data, des villes en mouvement, du 16 Juin 2011, se tenant à la Chambre de Commerce et de l'Industrie des hauts de Seine.

Le concept de *Product-Service System* (PSS) étaye l'hypothèse d'une prédominance de la fonction sur la possession des biens. Il relate la stratégie de certains industriels fondant dans le déplacement de la valeur économique des produits, depuis leur valeur d'échange et vers leur valeur d'usage, un mécanisme alternatif de génération de revenus. Dans ce cas, « l'unité de transaction est la fonction délivrée par un produit, et non le produit *per se* » (Lindahl et Ölundh, 2001, p.212). Le PSS est un concept générique sur lequel s'agrègent des notions dérivées apparues en ordre dispersé⁶⁹ et s'inscrivant dans la logique d'une « économie de fonctionnalité »⁷⁰. Il correspond à un ensemble de « produits tangibles et de services intangibles conçus et combinés de façon à être capables de satisfaire conjointement les besoins spécifiques des consommateurs » (Tischner et al., 2002, p.2).

Le concept de PSS recouvre des réalités et des stratégies différentes (MEEDAT, 2008), mais qui se rejoignent sur l'organisation d'un nouveau modèle (ou paradigme) économique bâti sur une réflexion axée autour de la fonction du produit (**Annexe 28** : Eléments de définition comparée de l'économie de la fonctionnalité, p.582). Dans cette optique, deux aspects se dégagent des activités visant à satisfaire un besoin par la biais d'un bouquet formé d'un ensemble intégré de biens et de services, et non à vendre les moyens qui vont permettre cette satisfaction. D'une part, « la notion de systèmes produits-services s'est engagée sur les voies de réconciliation des impératifs économiques avec les objectifs du développement durable »

⁶⁹ Pour Van Niel (2007), la paternité du concept de « service economy » revient à Stahel et Giarini, qui en posent les bases en 1986. Ce nouveau champ se consolide avec un ouvrage de référence (Stahel et Giarini, 1989), se développe et s'affine par la suite, au gré de cas d'études. Le vocabulaire, lui, tâtonne, comme l'illustre l'apparition des terminologies suivantes chez Stahel : « utilization-focused service economy » (Stahel, 1994), « functional economy » (Stahel, 1997), ou encore « functional service economy » (Stahel, 2006).

⁷⁰ « L'économie de fonctionnalité est couramment définie comme la substitution de la mise à disposition d'un bien par une prestation de services, pour laquelle le chiffre d'affaires est lié à l'intensité d'usage de ces biens par les clients » (MEEDAT, 2008, p.19). Le terme d'« économie de fonctionnalité » relève d'une appropriation par le monde politique et les praticiens. Les universitaires lui préfèrent la terminologie de *Product-Service System*.

(Moati et al., 2006, p.35)⁷¹. D'autre part, le PSS est consubstantiel d'une modification du métier de l'entreprise, qui devient prestataire de services, et d'une évolution de sa structure de coûts, car la fourniture d'un service occasionne un lissage des revenus pour l'industriel.

Soulignons l'adéquation régnant entre le concept de PSS et les propriétés de l'AE à l'égard de ces deux aspects. De part sa fiabilité et la modicité de son coût marginal d'utilisation, l'AE s'inscrit, en effet, dans un univers où les produits deviennent une forme de capital pour le fournisseur. Comme nous l'avons vu dans la **Partie 1**, leurs structures de coûts respectives se superposent. Dès lors, la tentation des opérateurs d'autopartage est de capitaliser sur le déplacement des sources de coûts de l'AE par rapport à son homologue thermique, depuis le coût d'entretien vers le coût d'achat, si bien qu'il devient désormais possible de rentabiliser leurs investissements en adoptant une stratégie qui consiste à maximiser l'utilisation de l'AE et, par-là, à en maximiser l'usure. Rappelons que l'usage et l'usure forment les dimensions complémentaires d'une modalité de commercialisation spécifique et potentiellement viable de l'AE.

Le croisement entre le concept de PSS et le monde automobile a été maintes fois opéré (Prettenthaler et Steininger, 1999 ; Schrader, 1999 ; Belz, 2001) et se manifeste sous la forme de l'autopartage (ou *car sharing*). En contribuant, pour l'un, à réduire le nombre de véhicules en circulation et, pour l'autre, à réduire le nombre de particules nocives en suspension, PSS et AE convergent pour réduire l'impact écologique des déplacements automobiles. Au nom des externalités positives en matière de pollution, ils justifient l'intervention des pouvoirs publics pour l'émergence de systèmes d'électromobilité communicants dans lesquels l'autopartage est

⁷¹ En ne basant plus leurs recettes sur une croissance de la consommation liée au renouvellement fréquent de leurs produits par les clients, les industriels se focalisent sur la durabilité des produits et sur la minimisation de leurs consommations en phase d'utilisation.

une composante du bouquet de transport⁷² (Zaring et al., 2001). Dans ce cadre, le bouquet de transports couvre toute la gamme des besoins de mobilité, en termes de disponibilité dans le temps et dans l'espace et d'accessibilité aux personnes (Commission Européenne, 2011.b).

L'autopartage est un système permettant à des consommateurs de bénéficier de l'usage d'une automobile par l'intermédiaire d'une centrale de réservation. Par opposition à la location, l'autopartage donne lieu à un abonnement qui va faciliter les formalités administratives pour accéder au véhicule. Il offre ainsi la possibilité d'utiliser un véhicule sur des durées très courtes, de jour comme de nuit. Afin d'offrir des fonctionnalités optimales, l'autopartage peut se concevoir sous différents formats (**Annexe 29** : Autopartage : de l'approche classique à l'approche « *one-way* », p.583), dont certains permettent aux usagers de déposer le véhicule dans n'importe quelle station gérée par un même opérateur, et non de les contraindre à restituer le véhicule à son emplacement d'origine. De nouveaux acteurs, que l'on nomme opérateurs d'autopartage, émergent et proposent ce type de prestations. Il s'agit, par exemple, du groupe Bolloré et du service Autolib' à Paris.

L'orientation « bouquet » qui s'est dessinée au fil des paragraphes précédents a concentré son attention sur la structuration du bien-système. En introduisant les notions d'intermodalité et de multimodalité, elle a également abordé la question de la coordination et de la combinaison des composantes du bien-système dans le cadre des systèmes d'électromobilité. Le modèle « autopartage », qui conçoit l'AE comme l'un des maillons des bouquets de transports agrégeant une multitude de modes de transport intégrés, aura dégagé certains principes de la structuration de l'industrie de l'AE. En particulier, il aura exposé et justifié l'apparition des opérateurs d'autopartage qui mettent à la disposition d'une clientèle professionnelle ou

⁷² Au-delà de l'autopartage, le Bus, le Métro, le Tramway, le Vélo-partage ou la péniche composent un bouquet de transports. Certains systèmes de transport sont régis par la volonté d'offrir uniquement des modes de transport doux (vélo, rollers, trottinette), ou bien propres (non émetteurs de gaz à effet de serre, dont l'AE).

particulière une flotte d'AE en autopartage et son infrastructure de charge. Désormais, pour parfaire notre prise en compte des multiples physionomies d'émergence de l'AE, nous proposons de confluer vers l'orientation « intersectorielle » du bien-système.

4. Orientation « intersectorielle » : convergence industrielle et propriété combinatoire.

L'originalité de l'orientation « intersectorielle »⁷³ tient au fait que le bien-système est envisagé comme traversant les frontières usuelles de son secteur de référence. Les effets utiles du bien-système sont ici augmentés par le croisement de biens et services – émanant de secteurs distincts – et via l'interaction entre de réseaux physiques aux natures variées (énergétique, électrique et télécoms). D'un point de vue théorique, l'orientation « intersectorielle » a essentiellement vocation à enrichir notre compréhension des conditions d'ancrage systémique des bien-systèmes agrégeant des technologies qui empruntent à plusieurs secteurs. En partant du concept de système technique (Gille, 1978) et de la notion de convergence industrielle (Greenstein et Khanna, 1997), nous verrons que certains produits apparaissent sous la forme d'un ensemble de technologies complémentaires, dont l'ajustement mutuel donne lieu à des relations d'entraînement, à des opportunités d'affaires, ainsi qu'à des fonctionnalités « augmentées », qui sont les traits caractéristiques du troisième modèle d'émergence de l'AE, qualifié de « multiface ».

⁷³ Nous avons jeté notre dévolu sur le terme d'orientation « intersectorielle » et non « interindustrielle » car nous sommes aux prises avec des biens et des services. En effet, si la conception anglo-saxonne de l'« industry » englobe ces deux dimensions, l'approche communément admise se polarise sur les activités humaines tournées vers la production de biens, issues du secteur secondaire. Le choix du secteur, en français, pallie cette limite.

4.1. L'AE : enveloppe d'une technologie qui infuse le système technique.

L'apparition de l'AE dans son orientation « intersectorielle » nous invite à considérer le cas où l'AE est perçu comme une nouvelle technologie rebattant les cartes du jeu concurrentiel sur l'hôtel d'une recomposition industrielle dépassant le cadre du secteur automobile. Cette conception ouverte souligne le potentiel de l'AE à s'ancrer dans le système énergétique, en particulier électrique, et à constituer le vecteur de chevauchements sectoriels et technologiques. Dans l'orientation « intersectorielle », il ne fait ainsi plus sens d'opter pour une analyse en termes de secteur, d'autant que l'AE ne se réduit pas à un renouvellement d'ordre technologique, mais s'inscrit dans un renouvellement plus profond en imprégnant la sphère de la technique. Pour donner corps à ces assertions, nous aborderons le champ des « systèmes technologiques d'innovations » (Carlsson et al., 2002), puis une succincte analyse en termes de « système technique » (Gille, 1978).

Dans la mesure où les effets utiles de l'AE intégrant l'orientation intersectorielle sont comme augmentés par le croisement et le concours de biens, services ou réseaux physiques empruntant à des secteurs et industries distincts, notre raisonnement doit s'écarter du périmètre sectoriel. En tout état de cause, si la démarche des tenants de l'analyse sectorielle, qui accordent une attention particulière aux liens et aux complémentarités productives au niveau des *inputs* comme de la demande finale⁷⁴, s'applique parfaitement au cas de l'AE, les frontières sectorielles ne sont plus appropriées. L'AE est, en effet, l'initiatrice d'une perméabilité sectorielle croissante, qui se manifeste sous diverses formes, que nous relaterons plus en avant.

⁷⁴ Ce sont d'ailleurs ces interdépendances et ces complémentarités – statiques et dynamiques, verticales (filiales) et horizontales – qu'un secteur entretient avec des industries connexes qui définissent ses frontières réelles. Elles font opposition aux frontières sectorielles classiques qui « sont choisies de façon à rendre la représentation commode, mais qui sont essentiellement arbitraires » (Chamberlin, 1933 - cité par Dréan, 1996, p.103).

L'orientation « intersectorielle » rompt avec les analyses traditionnelles à un second niveau. Ici, l'AE n'est plus uniquement considérée comme une technologie avancée, mais comme participant d'une transformation relativement plus essentielle des fondements techniques des économies contemporaines. Rappelons qu'une technique renvoie à « l'utilisation de savoirs scientifiques, en conjonction avec des pratiques » (Zimmermann 1989, p.94), et qu'une technologie « est une technique « inscrite » dans un processus économique et social » (Ibid., p.95) qui correspond à toute « activité consistant, à partir d'une ou plusieurs techniques, en combinaison avec d'autres informations, à créer des biens de production où à définir des procédés de production qui permettent de mettre à la disposition de la collectivité des biens et services » (Ibid., p.95). Pour apporter de la consistance à la distinction entre technique et technologie, ainsi que pour l'associer à la problématique de l'AE, il peut être utile de recourir à une définition du « système technologique d'innovation » et du « système technique ».

Le « système technologique d'innovation » (Carlsson et al., 2002) s'applique à examiner les structures et processus favorisant ou entravant le développement des champs technologiques (Smits, 2002). Il s'apparente à « un réseau dynamique d'agents interagissant dans un [champ économique et industriel spécifique] régi par une infrastructure institutionnelle particulière et qui sont impliqués dans la génération, la diffusion et l'utilisation de technologies » (Carlsson et Stankiewicz, 1991, p.94)⁷⁵. Ce sont précisément ces champs technologique, économique et industriel spécifiques que l'AE bat en brèches dans sa configuration « intersectorielle ». En croisant biens, services, technologies et infrastructures puisés au sein d'industries et secteurs distincts, l'AE contribue en fait à articuler des technologies, à la manière d'une technique.

⁷⁵ Le principal enseignement de l'approche en termes de « système technologique d'innovation » repose sur l'idée que les flux de connaissances sont nécessaires, mais non suffisants pour induire le changement technologique. Ces flux doivent pouvoir être exploités, ce qui implique que l'ensemble des acteurs du système technologique, publics et privés, individuels et collectifs, doivent être mis à contribution et guidés par des institutions formelles et informelles performantes (Freeman, 1995 ; Lundvall, 1988, Scott, 2001).

Le concept de « système technique » (Gille, 1978) ne renvoie pas seulement aux systèmes se constituant autour de technologies, produits techniques ou secteurs particuliers mais, plus largement, à la manière dont l'ensemble des éléments d'un système (acteurs, organisations, connaissances, applications, usages) s'organise autour de technologies génériques⁷⁶ pour leur permettre de déployer toutes leurs potentialités (De Bandt, 2002). Dans le « système technique », l'ensemble des éléments de connaissance et de savoir technologique sont ainsi reliés et mis en cohérence à un niveau fonctionnel⁷⁷. Parallèlement au fait d'alimenter une certaine perméabilité sectorielle, notre lecture est que l'AE est susceptible de renouveler partiellement les fondements techniques des économies modernes en constituant le socle d'interactions et de complémentarités technologiques à un niveau élevé de généricité.

L'ensemble de ces dynamiques contribue à façonner un périmètre inédit pour la filière « électromobilité »⁷⁸, ainsi que de nouvelles fonctionnalités pour l'AE. La suite de ce développement est structurée autour du désir de cerner l'origine et d'explicitier la forme et les effets des chevauchements sectoriels et technologiques qui restent, pour le moment, obscurs. En particulier, nous aborderons la question des points d'ancrage technologiques, de même que celle de la nature des éléments échangés (produits, technologies, connaissances). Pour cela, nous formulerons une approche théorique, axée sur la notion de « convergence industrielle », qui se doublera d'une approche descriptive s'attachant à présenter le modèle « multifaces ».

⁷⁶ Ces technologies génériques sont notamment des *General Purpose Technologies (GPT)*. Les analyses en termes de *GPT* explicitent le degré de généricité des techniques et les complémentarités entre les innovations, qu'elles soient verticales, entre la *GPT* et les secteurs d'application, ou horizontales, entre les secteurs d'application (Bresnahan et Trajtenberg, 1995). Notre propos n'est pas d'assimiler l'AE à une *GPT*.

⁷⁷ D'après Gille (1978, p.16), le « système technique » s'assimile à « une stabilisation des articulations et des interdépendances entre techniques, conférant à l'ensemble une cohérence aux différents niveaux de l'édifice, dont la dynamique est engendrée par la dialectique des contingences et exigences réciproques des systèmes techniques et des systèmes économiques ».

⁷⁸ L'approche par la filière industrielle contraste par rapport à l'analyse sectorielle, en se dégageant d'un cadre sectoriel étroit. Pour autant, parce qu'elle se cantonne à une analyse « morphostatique » des structures et des comportements (Zimmermann, 1995), nous lui préférons le terme d'industrie de l'électromobilité pour la suite de notre travail. Plus neutre, générique et « permissif », ce dernier ne bute pas sur une connotation statique.

4.2. Emergence d'un système d'électromobilité. Une lecture par le processus de convergence industrielle.

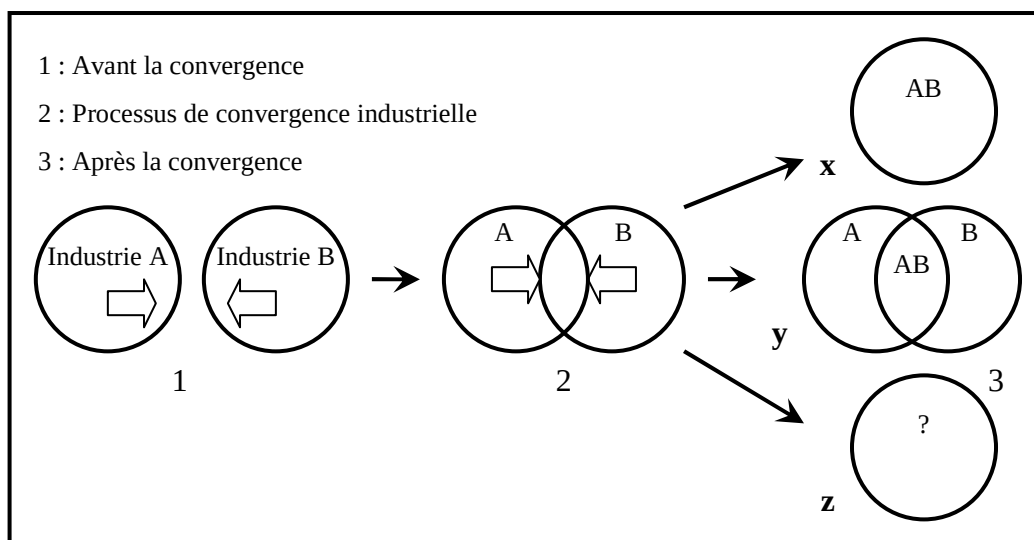
A la lumière des réflexions précédentes, les phénomènes d'émergence intersectorielle, où les produits investissent simultanément des secteurs distincts en capitalisant sur des technologies génériques, semblent retors aux analyses traditionnelles du processus d'innovation. Dans ce cadre, la notion de convergence industrielle ou sectorielle (Greenstein et Khanna, 1997 ; Le Dortz et Lequeux, 1999) se montre intéressante pour cerner la nature et la logique des chevauchements sectoriels et technologiques, car elle met en exergue les fertilisations croisées qui naissent à la confluence de secteurs auparavant disjoints, notamment en termes de fonctionnalités des biens. Dans le prolongement d'une rapide revue de la littérature sur la convergence industrielle, nous nous appuierons sur un apport théorique complémentaire, intitulé innovation « combinatoire » (Varian et al., 2004), pour initier notre approche descriptive des dynamiques à l'œuvre quant aux systèmes d'électromobilité.

La littérature en termes de « convergence industrielle » a été foisonnante à l'orée des années 2000, lorsque les industries de l'électronique, des télécommunications et des médias ont convergé pour définir et affiner les traits de l'industrie du multimédia⁷⁹. Précisons que la convergence industrielle ne relève pas d'un empilement d'industries distinctes, mais d'un processus d'intégration industrielle bâti sur une perméabilité mutuelle entre deux ou plusieurs industries (Zhou, 2003). Le processus de convergence industrielle comprend trois étapes (**Annexe 30** : Les étapes de la convergence industrielle, p.584) et se signale par deux singularités. Il s'agit, d'une part, de l'hétérogénéité des facteurs à l'origine de la convergence.

⁷⁹ D'autres exemples de convergence industrielle parsèment la littérature, à l'instar de l'industrie des alicaments, issus de la fusion entre les industries chimique, pharmaceutique et de l'agro-alimentaire (Walsh et Lodorfors, 2002), ou de l'industrie de la bancassurance (Bergendahl, 1995 ; Cummins, 2005).

Ces derniers sont d'ordre technologique, réglementaire, ou bien liés à des facteurs purement économiques, telles que les économies d'échelle (Bergendahl, 1995 ; Commission Européenne, 2007). Il s'agit, d'autre part, de l'incertitude qui pèse quant au produit de la convergence industrielle (**Figure 21** : Les issues du processus de convergence industrielle).

Figure 21 : Les issues du processus de convergence industrielle :



Source : Weaver (2007), p.11

L'intérêt pour la thématique de la convergence industrielle s'est traduit par des travaux variés, parmi lesquels deux contributions notables. La première émane de Greenstein et Khanna (1997), qui distinguent deux types de convergence technologique. On parle de « convergence de substitution » si l'apparition d'une technologie transversale homogénéise la base technologique de certaines industries de manière à rendre substituables une ou plusieurs classes de produits existantes (Cf. élément **x**). Il y a « convergence de complémentarité » si le rapprochement de plusieurs industries jusque là distinctes forme une nouvelle classe intégrée de produits à forte valeur ajoutée pour les utilisateurs finaux (Cf. élément **y**). Pennings et Puranam (2001) complètent cette typologie en l'ouvrant à des considérations technico-économiques. Ils dissocient la convergence au niveau de la demande et au niveau de l'offre (**Tableau 34** : Typologie des processus de convergence industrielle).

Tableau 34 : Typologie des processus de convergence industrielle :

	Convergence de substitution	Convergence de complémentarité
Orientation demande	Les attentes et besoins des consommateurs s'homogénéisent	Les attentes et besoins des consommateurs sont satisfaits par la vente de produits liés (bundle)
Orientation offre	Homogénéisation des savoir-faire technologiques permettant de satisfaire les mêmes besoins (ex. PC/TV)	Différentes technologies s'associent pour créer de nouveaux produits/ fonctionnalités/opportunités d'affaires

Source : Adapté de Pennings et Punaram (2001)

Sur les quatre cadrans introduits par Pennings et Puranam (2001), la convergence de complémentarité orientée « offre » est la plus proche du modèle « multiface » d'émergence des systèmes d'électromobilité. En effet, l'AE est la médiatrice d'une convergence industrielle et technologique entre les industries automobile et énergétique. Plus précisément, il est le médiateur d'une convergence d'ordre combinatoire et ponctuelle entre les systèmes d'électromobilité et le système électrique, et non une convergence industrielle *stricto sensu*, ce que nous préciserons plus en avant.

Pour jouer un rôle de médiateur dans cette convergence industrielle, l'AE s'appuie sur une convergence technologique qui en constitue une condition *sine qua non* (Heaton, 1995 ; Commission Européenne, 2007). En pratique, « une nouvelle strate d'innovations se dessine avec le développement des applications des TIC sur les maillons situés à « l'aval » de la production électrique, c'est-à-dire au niveau des réseaux de transport et de distribution d'électricité » (Lesgards, 2011, p.62)⁸⁰. L'ajout des TIC – comme les capteurs, les compteurs numériques et les réseaux de communication intelligents (« *smart grids* ») – permet au réseau physique, muet jusqu'ici, de devenir communicant. Ces propriétés communicationnelles

⁸⁰ Par exemple, « General Electric commercialise à la fois des compteurs avancés, des appareils électroménagers dotés de puces les rendant pilotables et programmables, ou des batteries avancées pour l'AE ainsi que des énergies intermittentes aux réseaux » (Lesgards, 2011, p.63).

favorisent l'efficacité et le « verdissement » du système énergétique, notamment parce qu'elles facilitent l'intégration des énergies renouvelables et celle de l'AE. Dans ce contexte, le positionnement des *smart grids* les apparente à ce que Varian et al. (2004) qualifient d'innovation « combinatoire ».

L'innovation « combinatoire » ou *combinatorial innovation* (Varian et al., 2004), explicite la mécanique combinatoire – du point de vue technologique et fonctionnel – qui découle du croisement entre les technologies et les secteurs. En particulier, elle souligne la propension de certaines innovations à combiner et à stimuler la recombinaison des connaissances, produits ou services existants, y compris par-delà les frontières sectorielles traditionnelles. Les innovations combinatoires agissent ainsi à la manière d'intermédiaires universels⁸¹ et donnent lieu à des agencements non prédéfinis. Nous estimons que c'est précisément la propriété de l'EA de pouvoir être optimisée et complétée par l'adjonction de connaissances, produits ou services issus de secteurs distincts – et dont les effets utiles dépassent le cadre de l'industrie automobile – qu'il est susceptible de se diffuser en masse⁸².

Dans le modèle « bouquet », l'AE voyait ses fonctionnalités étendues par l'adjonction des TIC, qui assurent son ancrage systémique dans un univers multimodal. Dans le cas du modèle « multifaces », l'AE voit ses fonctionnalités augmentées – en assumant une double fonction de déplacement et de stockage transitoire d'électricité – par le biais des TIC et des *smart*

⁸¹ Par exemple, l'Internet s'est déployé en agrégeant des langages de programmation et des protocoles encastres dans des programmes informatiques et des logiciels. De nouvelles lignes de codes, des briques de connaissances, furent rapidement imaginées et exploitées par des précurseurs de tous horizons. Ces derniers pouvaient combiner ces *softwares* à un programme-source ou bien à des supports physiques (*hardware*) pour créer ainsi de nouvelles applications ou produits. Gambardella et Torrisi (1998) parlent de « plateformes technologiques intégratives ».

⁸² Cette assertion fait écho à la notion de « grappe technologique » (Zimmerman, 1989), qui correspond à « une ouverture des possibles, organisée autour d'axes structurants que constituent les technologies génériques » (Zimmerman, 1995, p.1266). De la sorte, la grappe technologique rend possible une pluralité de directions de valorisation en vue d'une large gamme d'applications. Il est bien entendu que l'opportunité entrepreneuriale résulte également de facteurs socio-économiques et industriels, au rang desquels la structure de marché (Audretsch, 1995) ou la psychologie et les réseaux de l'entrepreneur (Chabaud et Messenghem, 2010).

grids, qui accommodent les industries automobile et énergétique. De fait, s'il n'y a pas, [au sens propre], de convergence ou de fusion entre ces deux industries, il existe bel et bien une jonction d'ordre combinatoire intermédiée par les TIC et les *smart grids*, dans le cas du modèle « multiface » d'émergence de l'AE, que nous proposons désormais de préciser.

4.3. Introduction au modèle « multiface ».

Le modèle « multiface » qui a pris forme au cours du déroulé des paragraphes précédents envisage un type de bien-système dont les fonctionnalités sont augmentées par le croisement de produits, services et réseaux physiques de différentes natures. Dans ce cadre, le jeu de la combinatoire et la mécanique des complémentarités technologiques façonnent de nouvelles fonctionnalités pour les produits. Pour le cas de l'AE, c'est l'action coordonnée de deux éléments qui conduisent à l'augmentation des fonctionnalités. En premier lieu, l'AE – ou plutôt sa batterie – est le vecteur d'un décroisement entre les industries énergétique et automobile. En second lieu, des technologies génériques liées au développement des TIC sur les maillons situés à « l'aval » de la production électrique, apparaissent et assurent la jonction technique entre le système électrique et le système d'électromobilité.

Intégré dans un système énergétique décarboné, l'AE assure une fonction de stockage de l'électricité, au-delà d'une usuelle fonction de déplacement. La « fonction de déplacement » renvoie au fait que l'AE, à l'instar de tout véhicule, permet aux usagers de se mouvoir. La « fonction de stockage » (d'électricité) de l'AE ne peut s'appréhender sans inclure la question de l'intégration des énergies alternatives (EnR) intermittentes au système énergétique. L'avènement des EnR intermittentes, particulièrement l'éolien et le photovoltaïque, fait intervenir des contraintes techniques lourdes et donne lieu à des coûts importants. Lorsqu'aux

variations continues de la demande d'électricité s'ajoutent des sources d'énergie versatiles, tels que la baisse momentanée du vent ou l'obturation des rayons solaires par les nuages, les variations imprévues de l'offre des producteurs constituent un aléa additionnel. Rappelons que l'électricité est un flux qui ne peut donc être stocké au sens propre du terme, mais seulement convertie. Schématiquement, cette propriété induit le fait que le niveau de la production d'électricité doit [à tout moment] se superposer rigoureusement au niveau de la consommation. Ces derniers ont notamment trait aux capacités de production et de réserves supplémentaires dans lesquelles il est nécessaire d'investir à mesure que les EnR imprègnent le mixte énergétique. Dans ce cadre, une solution commode et relativement peu dispendieuse, capitalisant sur les propriétés systémique et intersectorielle de l'AE, place cette dernière dans une position de maillon central des systèmes énergétiques efficaces et décarbonés.

Au sein de tels systèmes, l'AE devient un moyen de stockage transitoire de l'électricité grâce à la propriété bidirectionnelle qu'acquière le réseau électrique lorsqu'il est couplé aux *smart grids*⁸³. Les protocoles du type *Vehicle-to-Grid*⁸⁴ et *Vehicle-to-Home*⁸⁵, initiés dès 2006 aux Etats-Unis, assurent la jonction entre l'AE et le réseau électrique, qu'il pourrait soutenir au besoin, lors de pics de consommation d'électricité ou en cas d'urgence (orages, coupures de câbles). Aussi, dans sa configuration « intersectorielle », loin d'interroger le dimensionnement des systèmes énergétique et électrique (cf. **Partie 1**), l'AE apporte une solution, tant pour l'intégration des EnR intermittentes, que pour juguler les périodes de surproduction et de sous-production d'électricité⁸⁶. Il s'assimile alors à une « centrale électrique virtuelle

⁸³ Dans ce cas de figure, l'électricité circule du réseau national vers le réseau domestique et réciproquement.

⁸⁴ Transfert [bidirectionnel] d'énergie depuis l'AE vers le réseau électrique local ou national et inversement.

⁸⁵ Transfert [bidirectionnel] d'énergie depuis l'AE vers le réseau électrique domestique et inversement.

⁸⁶ Pour contrôler la surproduction d'électricité, on pratique un « effacement diffus », c'est-à-dire que l'on stocke le surplus d'électricité dans les batteries d'une flotte d'AE. Pour contrôler la sous-production d'électricité, on puise – en temps réel – dans le stock d'énergie qui est contenu dans une flotte d'AE.

répartie », marquant le passage d'un système centralisé à un réseau type « Internet » pour l'électricité. De ce point de vue, le bénéfice retiré de la capacité de stockage de l'AE est dual.

D'une part, tandis que jusqu'ici, le pic de production des énergies éolienne et photovoltaïque ne se superposait pas avec le pic de consommation d'électricité, sans réelles solutions satisfaisantes⁸⁷, la combinaison de l'AE et des *smart grids* simplifie le défi de leur intégration respective. Dans une certaine mesure, ces technologies se qualifient même mutuellement. D'autre part, en étant susceptible d'absorber l'excédent d'électricité en période creuse de consommation et de dégager ce surplus aux heures de pointe, il est possible de tirer un revenu de l'AE. L'enjeu est alors de maximiser le différentiel (ou *spread*) entre le prix d'achat de l'électricité et son prix à la revente sur un marché, où se confrontent quotidiennement des offres et demandes d'électricité⁸⁸. De nouveaux acteurs, tels que les « opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges », qui proposent d'optimiser les périodes de charge et de décharge de l'AE, s'immiscent dans la brèche ouverte par la redéfinition et la perméabilité des frontières industrielles (Cf. **Chapitre 3**)⁸⁹.

⁸⁷ Le stockage stationnaire d'électricité repose sur trois technologies. Le stockage hydraulique par Station de Transfert d'Énergie par Pompage, qui approche de la saturation (ADEME, 2011.b). Le stockage par compression CEAS (Compressed Air Energy Storage), couplé à de polluantes centrales au gaz, dont le rendement est faible. Le stockage par batteries électrochimiques, qualifié de « fixe », lorsque les batteries sont placées en série dans l'enceinte d'une centrale de stockage, ou de « mobile », dans le cas du stockage par AE.

⁸⁸ En Europe, la bourse d'électricité est opérée par EPEX Spot SE, une entreprise dont la gamme de produits comprend les transactions spot de l'électricité pour l'Allemagne, la France, l'Autriche et la Suisse, comptant globalement pour plus d'un tiers de la consommation d'électricité européenne.

⁸⁹ A titre d'exemples, le groupe Vinci, concessionnaire d'infrastructures d'équipements publics et de transport, conçoit des bornes de charge publiques et privées pour AE ; Google développe des applications destinées au management des énergies renouvelables ou à l'information en temps réel sur la disponibilité des bornes de charge pour AE ; General Electric et Bosch commercialisent à la fois des batteries avancées pour l'AE, ainsi que des énergies intermittentes aux réseaux. Si les bouleversements industriels associés aux processus de convergence industrielle poussent à la redéfinition de la manière de concevoir et d'organiser l'offre (Le Dortz et Lequeux, 1999), dans notre cas d'espèce, la nature combinatoire de la jonction sectorielle ne devrait pas supprimer les spécificités sectorielles en termes de compétences et de savoir-faire, selon la grille de lecture de Rallet (1996). Pour Hamdouch (2002), qui relie la nature des rapprochements industriels aux types de complémentarités technologiques, lorsque cette complémentarité est élevée, il faut s'attendre à des alliances de complémentarité et à des alliances d'apprentissages mutuels, ce que semble corroborer le constat empirique.

Afin d'interpréter l'apparition de l'AE dans son orientation « intersectorielle », nous avons eu recours à une analyse cumulant les perspectives industrielle, technologique et fonctionnelle. En affinant progressivement notre compréhension du processus de convergence sectorielle et en l'adaptant au cas de l'AE, nous avons défini que l'émergence de ce dernier alimente un phénomène de décroisement entre les industries automobile et énergétique qui prend la forme d'une jonction d'ordre combinatoire. Cette jonction est intermédiée par les TIC et les *smart grids*, grâce auxquelles, l'AE voit ses fonctionnalités augmentées, en assumant une double fonction de mobilité et de stockage transitoire d'électricité. A la confluence de ces secteurs autrefois distants et à l'interface des infrastructures énergétique, électrique et télécoms, il existe un marché qui est comblé par les « opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges ». Ceux-là proposent d'optimiser les périodes de charge et décharge de l'AE et déploient des modèles d'affaires novateurs.

Conclusion du Chapitre 1.

Dans ce premier chapitre portant sur la définition de « systèmes d'électromobilité » à l'appui d'une grille de lecture en termes de « bien système », nous avons dressé un inventaire ordonné des multiples acceptions théoriques du concept de bien-système. Nous avons interrogé ces dernières à l'aune de la nature et du périmètre des fonctionnalités des bien-systèmes, qui nous ont permis d'isoler trois orientations parmi lesquelles s'inscrivent les diverses configurations de bien-système et, par-là, les « systèmes d'électromobilité ». Dans l'orientation « produit », le bien-système est un produit complexe agréant des sous-systèmes solidaires dans l'usage. Dans l'orientation « bouquet », le bien-système est un ensemble de biens et services complémentaires dans l'usage et concourant à satisfaire un même type de besoins. Dans l'orientation « intersectorielle », le bien-système est un ensemble de biens, services et réseaux

physiques complémentaires satisfaisant, de concert, plusieurs types de besoins distincts. A partir de ce nuancier, nous pouvons identifier une série d'indications sur les modalités d'émergence, de production et de diffusion de l'AE.

Du point de vue des principes de production des bien-systèmes, la mobilisation des approches du « bien complexe » et des *Complex Product System* a montré que le bien-système se singularise par une structure « multi-composants » et « multi-technologies », qui induisent l'existence d'interactions nourries entre les acteurs, mais également l'ordonnancement et la mise en cohérence de l'ensemble des apports et compétences propres à chaque partie prenante. Le degré de proximité technologique et cognitive des éléments constitutifs oriente ainsi les arrangements organisationnels au sein de l'industrie de l'électromobilité. Aux consortiums de recherche traditionnels, focalisés sur l'amélioration des performances des batteries d'accumulateurs (**Cf. Partie 1**), s'ajoutent ou se substituent désormais des plateformes d'électromobilité qui intègrent, coordonnent et pilotent des acteurs très différents, tels que les constructeurs automobiles, les gestionnaires d'infrastructures, les intégrateurs systèmes, les producteurs de batteries ou les laboratoires de recherche publics et privés. C'est notamment l'adoption d'une forme organisationnelle appropriée à la difficulté de mobiliser en commun des acteurs dans le cadre d'un processus complexe et distribué qui conditionne l'émergence de l'AE, car elle joue un rôle majeur dans le processus d'alignement du système sociotechnique de l'AE au régime dominant.

L'approche par l'économie des bouquets (Moati et al., 2006), qui aborde la question de la structuration du bien-système, souligne que l'AE ne se conçoit pas isolément, mais dans le cadre de systèmes d'électromobilité. Par le biais du concept de *product-bundling* (Adams et Yellen, 1976), nous avons introduit les notions d'intermodalité et de multimodalité, suggérant

la combinaison [alternative] de plusieurs modes de transports distincts lors d'un déplacement. Ramenées aux systèmes d'électromobilité, ces notions ont précisé les conditions d'émergence territorialisé de l'AE en « autopartage », c'est-à-dire en libre service, en tant que l'un des maillons d'un système global d'électromobilité. En premier lieu, l'interopérabilité des systèmes transite par le déploiement de lieux jouant le rôle d'interface physique entre les modes de transport. En second lieu, l'interopérabilité se construit sur des remontées informationnelles mutuelles et partagées par toutes les parties prenantes, depuis les opérateurs de transport et jusqu'aux utilisateurs, car la donnée – dans sa dispersion dans l'espace et dans le temps – constitue la clé de voûte de la compréhension des flux de déplacements. Ces systèmes butent aujourd'hui essentiellement sur des contraintes d'ordre économiques, sur leur capacité à impliquer toutes les parties prenantes.

Nous avons déjà montré comment l'AE, à travers sa batterie d'accumulateurs, constitue le vecteur de chevauchements sectoriels et technologiques. Par l'usage du concept de « système technique » et des notions de « convergence industrielle » et d'innovation « combinatoire », nous avons pu préciser les conditions d'ancrage systémique de technologies empruntant à plusieurs secteurs et, par-là, donnant lieu à des fonctionnalités « augmentées », des relations d'entraînement et des opportunités d'affaires. L'ensemble de ces dynamiques contribue à façonner un périmètre inédit pour la filière « électromobilité », qui capitalise sur la perméabilité entre des industries autrefois cloisonnées. Cette perméabilité est rendue possible par une strate d'innovations située à l'aval de la production électrique. En pratique, l'AE se place à l'interface des infrastructures énergétique, électrique et télécoms et engendre l'émergence d'opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges qui proposent d'optimiser les conditions d'utilisation de l'AE, ainsi que ses périodes de charge et de décharge. Or, il nous semble que la propriété de l'AE de pouvoir être optimisée et complémentée par l'adjonction

de connaissances, produits ou services issus de secteurs distincts, c'est-à-dire d'agréger une grappe d'innovations, est un facteur conditionnant de sa diffusion.

A partir de ces éléments de cadrage théorique, nous avons introduit des modèles génériques d'émergence de l'AE, qui se cristallisent sous la forme de « systèmes d'électromobilité ». Ces systèmes s'ancrent au régime sociotechnique dominant à travers différentes physionomies qui se définissent comme des ensembles intégrés composés **(1)** d'une technologie au sens large (AE, batterie, infrastructure de charge), dont le potentiel est actionné par **(2)** un soubassement d'infrastructures de nature variée (routière, électrique, télécoms, énergétique), dans le cadre **(3)** d'un régime d'usages spécifiques par ses propriétés spatio-temporelles. Par exemple, le modèle « Autopartage », dans lequel l'AE est disponible en libre service, se superpose parfaitement à la modicité du coût marginal d'utilisation de ce dernier, en adoptant une stratégie qui consiste à maximiser l'utilisation et l'usure de l'AE. Nous proposons de détailler ces systèmes dans le **Chapitre 2**.

Chapitre 2 : Quatre modalités génériques d'émergence des systèmes d'électromobilité :

Plusieurs systèmes d'électromobilité – c'est-à-dire des ensembles intégrés de technologies dont le potentiel est actionné par un soubassement d'infrastructures, dans le cadre d'un régime d'usages spécifiques – ont été identifiés au sein du premier chapitre. A notre sens, ces systèmes s'inscrivent dans quatre grands modèles d'électromobilité, que l'on désigne par les qualificatifs de modèles « substitution rigide », « substitution flexible », « autopartage » et « multifaces ». Si nous avons d'ores et déjà eu l'occasion de les saisir à gros traits, nous proposons ici de les décrire avec force détails. Rappelons que chacun d'eux représente une niche de marché susceptible de s'inscrire dans le régime sociotechnique dominant, mais également de s'y substituer au gré de leur capacité à en restructurer les composantes technologique, scientifique, industrielle, culturelle, ou encore politique, autour de leurs propres fondements et lois d'évolution.

Jusqu'ici, l'approche que nous avons adoptée a été de considérer l'AE comme un bien-système dont les effets utiles sont cantonnés au véhicule, étendus, ou bien encore augmentés par rapport à ses fonctions usuelles. A partir de là, nous avons distingué trois orientations, « produit », « bouquet » et « intersectorielle », qu'il est commode de filtrer par les notions de déplacement et de mobilité (**Tableau 35** : Orientations produit, bouquet et intersectorielle : une clé de lecture). Conventionnellement, la logique de déplacement traduit l'idée d'un mouvement effectif « neutre » vis-à-vis du motif ou du lieu où il s'opère. Il se mesure ainsi en temps et en distance au sein d'un espace et contraste en cela avec la logique de « mobilité », qui se concrétise dans une territorialisation des déplacements. Elle se mesure en activité et induit le recours à des infrastructures de transport et des usages intimement ancrés dans un

territoire. Dans le cadre de l'électromobilité, la logique de déplacement s'assimile à l'usage flexible et autonome d'une automobile, tandis que la « fonction de mobilité » s'assimile davantage à l'usage situé d'une automobile, dont les déplacements sont collectivement régis et optimisés par un opérateur de mobilité.

Tableau 35 : Orientations produit, bouquet et intersectorielle : une clé de lecture :

Orientation	Produit	Bouquet	Intersectorielle
Périmètre des effets utiles	Cantonné au produit	Etendu par l'ajout de biens et services	Augmenté par le croisement de B, S et réseaux physiques
Type de logique/fonction	Logique de déplacement	Fonction de mobilité	Fonction de mobilité et de stockage

Source : Représentation de l'auteur

Les orientations, « produit », « bouquet » et « intersectorielle » qui ont, jusqu'ici, jalonné notre exposé sont à l'origine d'une typologie en quatre modèles génériques d'émergence de l'électromobilité. Le filtre appliqué en termes de logique de déplacement et de fonctions de mobilité ou de stockage vient articuler l'appartenance de chacun des modèles aux orientations repérées (**Tableau 36** : Modèles d'émergence de l'électromobilité : lecture par les fonctions).

Tableau 36 : Modèles d'émergence de l'électromobilité : lecture par les fonctions :

Orientation	Produit		Bouquet	Intersectorielle
Type de logique/fonction	Logique de déplacement		Fonction de mobilité	Fonction de stockage
Modèles génériques	Substitution flexible	Substitution rigide	Autopartage	Multifaces

Source : Représentation de l'auteur

En vue de décrire plus précisément ces différents modèles, et avant de les exposer un à un, nous proposons de cerner leur nature et leurs lois d'évolution grâce aux travaux de Lesourne

(1976). Ce dernier introduit quatre types de systèmes aux modes de fonctionnement spécifiques et s'appliquant à une multitude de systèmes, organiques, sociaux ou artificiels. Chacun de ces systèmes peut être associé à l'une des physionomies d'émergence des systèmes d'électromobilité et met ainsi en exergue leurs principales propriétés.

(a) Les « systèmes à états » transforment « une succession d'entrées en succession de sorties » (Lesourne, 1976, p.46), sans bénéficier d'une régulation interne. Cette régulation est, en fait, déléguée à un mécanisme régulateur externe, humain ou non. La catégorie des « systèmes à états » comprend une grande série d'objets, « du pendule à la pile électrique, de la règle à calcul au télescope » (Lesourne, 2009, p.239). Dans le cadre de l'électromobilité, une telle configuration renvoie au modèle « substitution flexible ». En effet, un système dépourvu de régulation interne évolue au gré des comportements non prédéfinis et non préformés des automobilistes qui ne répondent à d'autres stimuli que la satisfaction de leurs attentes et besoins propres.

(b) Les « systèmes à buts » ont, comme leur nom l'indique, une finalité bien spécifiée et de laquelle ils ne dérogent pas, sur l'exemple de la fusée à tête chercheuse. Afin d'atteindre un objectif, ces systèmes disposent d'une capacité de contrôle et de régulation interne qui veille à sa bonne marche. Une telle configuration renvoie au modèle « substitution rigide », dans la mesure où ces systèmes d'électromobilité évoluent à partir d'une fonction objectif unique, celle d'assurer un déplacement prédéfini. Il s'agit tout autant des déplacements en voie ou en site propre – c'est-à-dire un transport en commun qui emprunte une voie ou un espace qui lui est strictement réservé – et des tournées, du type distribution du courrier ou marchands itinérants, dont l'itinéraire est connu.

(c) Les « systèmes à apprentissage » disposent d'une mémoire et de mécanismes de calculs leur permettant une forme d'auto-organisation. Ils sont ainsi capables de se fixer leurs propres objectifs et de procéder à des autocorrections par un processus d'essais et erreurs. Ces systèmes, adaptant leurs décisions en fonction des données qu'ils enregistrent, renvoient au modèle « autopartage », qui s'appréhende à deux niveaux. Il s'agit d'abord des systèmes d'autopartage opérés par un opérateur d'autopartage susceptible, en fonction de certaines données telle que l'offre et la demande en véhicules, de réachalander les lieux de retrait ou d'adapter ses modes et niveaux de tarification. De manière plus agrégée, il s'agit de l'organisation multimodale ou intermodale d'un bouquet de transports dont l'AE en autopartage est l'un des maillons. Un tel système est capable d'orienter les usagers vers les combinaisons de modes de transport opportunes ou de les réorienter – parfois en temps réel – en fonction de la modification de ses règles de fonctionnement ou de ses objectifs, lors de pannes, d'épisodes de congestion des voies d'accès à une zone, ou de pic de pollution.

(d) Les « systèmes complexes » sont composés de plusieurs « systèmes à buts » indépendants. Ils s'organisent de manière spontanée, sous forme de jeux, ou bien de façon hiérarchique, dans le cas des organisations. Cette catégorie de système renvoie au modèle « multifactes ». Ce dernier remplit deux types de fonctions qui, chacune, dispose de sa propre logique. Il s'agit de la « fonction de mobilité » – dont l'objet est de permettre aux usagers de se mouvoir et d'accéder à une infrastructure de recharge pour leur AE – et de la « fonction de stockage (d'électricité) », dont l'objet est de maximiser l'usage de la batterie d'accumulateurs de l'AE car elle est le soubassement du modèle d'affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Ce sont ces derniers qui, au regard d'algorithmes portant sur les offres et demandes d'électricité et sur les offres et demandes de mobilité, assurent l'articulation entre ces deux objectifs.

Une fois la logique interne de chaque modèle générique d'électromobilité cernée, nous proposons de les expliciter, en nous efforçant de souligner leurs traits saillants et singularités, ainsi que de les illustrer par des exemples empiriques, s'inscrivant dans une multitude de modes de déplacement (**Annexe 31** : Modalités de déplacement : un panorama, p.584). Pour cela, nous soumettrons chaque modèle à un cheminement analytique analogue, consistant à adosser un régime spatio-temporel à chaque modèle d'électromobilité. Au préalable, nous proposons de préciser le lien unissant ces modèles à l'espace dans lequel ils s'établissent, notamment à travers le prisme de la lecture par la perspective multi-niveaux. En effet, au-delà des systèmes de valeurs, des rythmes et des habitus fixant les comportements de mobilité automobile, le périmètre du déplacement, en tant qu'espace, s'exprime par son inertie et par une structure établie découlant d'une maturation longue. A ce titre, l'espace, dans sa formalisation concrète rurale, périurbaine ou urbaine, se saisit comme une composante de la macrostructure qui s'impose aux systèmes d'électromobilité.

Dans la problématique de l'ancrage de l'AE aux mobilités et aux temporalités des agents économiques usagers de la route, nous considérons que le couple espace/temps est une variable discriminante quant à l'émergence et à la diffusion de l'AE. Pour appréhender ces régimes spatio-temporel, il nous faut nous appuyer sur une double typologie des temps et des usages, bien connue des socio-économistes de la mobilité, des urbanistes, ou de l'INSEE (**Tableau 37** : Une typologie des espaces et des usages de mobilité)⁹⁰. Précisons que ces régimes spatio-temporels s'appliquent en priorité aux véhicules particuliers et utilitaires légers destinés au transport de personnes, mais qu'ils s'adaptent, dans une certaine mesure, aux

⁹⁰ Sur cette question, nous avons conscience que l'appréhension de l'économiste est moins riche que celle de l'urbaniste et du géographe. « La mobilité relève d'une combinatoire complexe qui ne se limite pas seulement au déplacement physique ni à des moyens de déplacement » (Desjeux et al., 2006, p.34). Il est donc nécessaire d'insister sur la relativité des arbitrages rendus. Ceux-là renvoient à la façon dont les acteurs appréhendent les rapports entre distance et proximité compte tenu des conditions sociologiques de l'environnement (Ibid.).

véhicules lourds destinés au transport de personnes (transports en commun) ou de marchandises (transport de proximité).

Tableau 37 : Une typologie des espaces et des usages de mobilité :

Typologie des espaces	Urbain	Périurbain	Extra-urbain
Propriétés (densité de la population, infrastructures)	Densité élevée	Densité moyenne	Densité faible
Typologie des usages	Loisirs	Pendulaire	Professionnel
Définition	Trajet privé (contraint/choisi)	Trajets domicile/travail	Trajets professionnels

Source : Représentation de l'auteur

Afin d'illustrer le degré de proximité qui existe entre chacun des modèles d'électromobilité et chacun des régimes spatio-temporels, c'est-à-dire en vue d'identifier le champ de validité des systèmes d'électromobilité à partir duquel un phénomène de verrouillage (*lock-in*) peut intervenir, nous recourons au dendrogramme⁹¹. Dans ce cadre, plus la longueur des branches est faible, plus la proximité est importante et plus un modèle d'électromobilité est adapté à un type d'espace et d'usage donnés. *A contrario*, plus la longueur des branches est élevée, plus le modèle d'électromobilité remet en cause les modalités de déplacement existantes et moins il s'inscrit dans le système sociotechnique dominant. Pour parfaire notre appréhension des modèles d'électromobilité et pour comprendre comment ils s'implémentent, nous complétons notre analyse en faisant apparaître les multiples couches d'infrastructures que ces derniers exploitent (**Annexe 32** : Types d'infrastructures exploitées par les modèles d'électromobilité, p.585).

⁹¹ Le dendrogramme est une forme d'arborescence utilisée pour illustrer l'arrangement de groupes d'éléments générés par un regroupement hiérarchique ou hiérarchisant. En économie, cet outil est mobilisé dans l'analyse des relations interindustrielles, dites « Input-Output » (Lantner, 1974). Dans notre acception, les dendrogrammes revêtent essentiellement l'intérêt d'assurer une lecture aisée d'éléments analytiques explicités par écrit.

1. Systèmes d'électromobilité associés au modèle « substitution rigide ».

Dans leur conception générale, les physionomies s'inscrivant dans le modèle de « substitution rigide » s'assimilent à des « systèmes à buts », par la finalité spécifique qu'elles visent. Elles convergent, en effet, pour atteindre un objectif unique et parfaitement délimité, celui d'assurer un transport – public ou individuel, de personnes ou de marchandises – prédéfini. Dans les systèmes d'électromobilité de « déplacement en voie propre », il s'agit de véhiculer des personnes et leur permettre de rallier un point A distant d'un point B, en empruntant une voie ou une route réservée à ce seul transport. Dans les systèmes d'électromobilité fondés sur un mode « tournée », il s'agit d'assurer une prestation de service dans le cadre d'un périmètre, d'une zone d'achalandage ou d'un bassin de vie, totalement circonscrit. Le mode « tournée » renvoie ainsi à un grand nombre d'usages liés à des déplacements d'un point A à un point A, c'est-à-dire dont le point de départ est également le point d'arrivée⁹², le plus souvent un dépôt. Finalement, certains systèmes d'électromobilité hybrides se situent entre ces cas polaires. Il s'agit de rallier deux points distants dont au moins l'un est connu et l'autre identifié, en recourant à une configuration technique novatrice, celle de batteries amovibles et des stations d'échange de batteries. Nous nommons ces systèmes « trajets semi-rigides ».

La donnée centrale des modèles s'inscrivant dans la « substitution rigide » est la connaissance *ex-ante* dont l'on dispose sur les trajets qui vont être effectués. Cette connaissance, variable selon les physionomies, porte sur la distance des déplacements, le parcours emprunté et/ou les terminus. En ce qui concerne les déplacements en voie propre, la connaissance amont est

⁹² Nous songeons ici aux services publics de transport en commun, de ramassage des ordures, ou de nettoyage de la voirie, ainsi qu'aux déplacements professionnels, comme les tournées des marchands itinérants. L'adéquation des AE à ces usages n'est pas nouvelle, puisqu'ils ont longtemps été utilisés pour la distribution des bouteilles de lait en Angleterre et en Allemagne. Leur nombre s'est stabilisé à hauteur de 30000 véhicules à partir des années 1950 et durant des décennies (Westbrook, 2001 ; Anderson & Anderson, 2005). En décembre 2011, la Poste française a commandé 10.000 AE pour la collecte et la distribution du courrier sur l'ensemble du territoire.

parfaite, sur chacune des composantes, car l'itinéraire est fixe par définition. Pour les « tournées », la connaissance amont est sensiblement moins fine, mais néanmoins tout à fait importante. En effet, les tournées s'opèrent au sein de zones, à l'échelle de la rue, du quartier, de la ville ou du territoire, ce qui induit une connaissance partielle. *A minima*, les bornes inférieures et supérieures des distances parcourues sont connues. Pour le modèle « trajets semi-rigides », la connaissance amont de chaque terminus peut être distincte sur une échelle qui va de l'identifié au parfaitement connu. Le **Tableau 38** récapitule ces éléments.

Tableau 38 : Les deux composantes du modèle « substitution rigide » :

Physionomies	Voie propre	Trajets S-R	Tournée
Périmètre	Itinéraire fixe	Itinéraire flexible	Zone
Nature du déplacement	D'un point A à un point B	D'un point A à un point X identifié	D'un point A à un point A
Connaissance <i>ex-ante</i> (distance/parcours/terminus)	Parfaite	Partielle	Partielle (intervalles)
Exemples	Easy-Twizy ⁹³	Flotte taxis (aéroport)	Distribution (courrier)

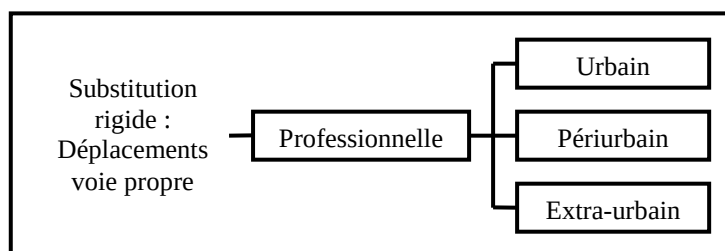
Source : Représentation de l'auteur

De par la spécificité de ces trois physionomies d'émergence de l'AE, centrées sur le transport de proximité, respectivement des personnes et des marchandises, les régimes spatio-temporels auxquels s'adosse le modèle « substitution rigide » sont singuliers. Pour sa part, le principe du déplacement en voie propre par le biais d'AE sied parfaitement aux opérateurs de transport, qui forment la demande ici (**Figure 22** : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas des « déplacements en voie propre »). En effet, la connaissance *ex-ante* parfaite des parcours et des distances permet de calquer les performances des AE aux attentes des opérateurs, notamment en termes d'autonomie. Rappelons que notre intention n'est pas

⁹³ « Easy-Twizy » est un projet en gestation de déploiement d'une offre AE en voie propre. Il a été initié par des élèves de l'ENSTA ParisTech en 2012 et vise à raccorder la gare RER de Massy-Palaiseau au plateau de Saclay, où l'école est située, grâce à de petites AE urbaines. Pour cela, la flotte « Easy Twizy » profiterait de l'existence d'une voie réservée aux compagnies de bus desservant le plateau de Saclay, sur le territoire Essonnien.

d'évaluer la pertinence des déplacements en voie propre à l'aune d'un cadre spatial donné, mais de considérer l'adéquation du triptyque AE, déplacements en site propre et cadre spatial.

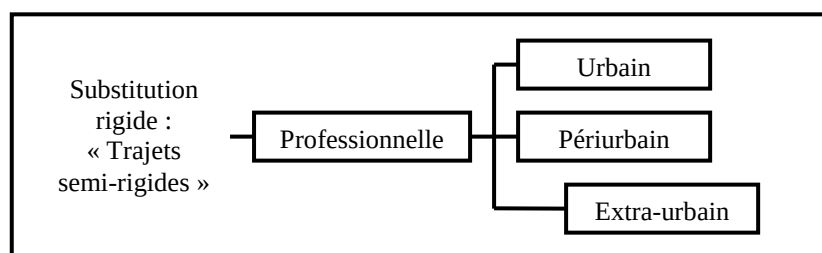
Figure 22 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas des « déplacements en voie propre » :



Le modèle de trajets semi-rigides, quant à lui, est basé sur une solution technique alternative à l'AE conventionnelle, pour laquelle la batterie est fixée et solidaire du châssis du véhicule. Il s'agit d'AE dotées de batteries amovibles, interchangeables à volonté par le biais d'un réseau en stations d'échange de batteries⁹⁴. Dans la configuration semi-rigide, ces AE prennent principalement la forme de flottes de véhicules, en particulier de taxis. Ces derniers intègrent le modèle « locomotion semi-rigide » dans les cas où ils reproduisent fréquemment ou systématiquement un même trajet, telle que la liaison entre un aéroport et un centre-ville, ou bien dont le point de départ ou le point d'arrivée de la course est connu ou identifié, tels que les trajets depuis un hôpital vers le domicile d'un malade chronique. Ce modèle s'adresse ainsi essentiellement au marché des professionnels (**Figure 23 :** Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas de la « locomotion semi-rigide »).

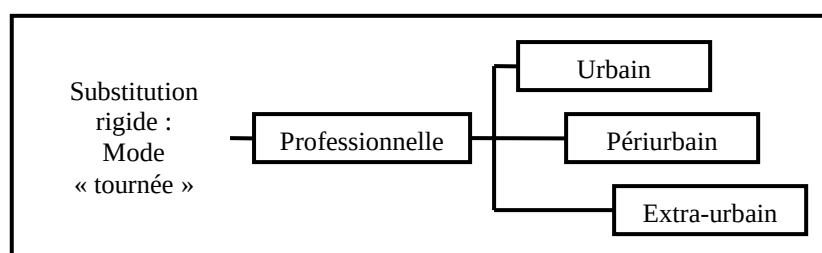
⁹⁴ Ces stations d'échange de batteries standardisées sont dénommées « quick drop » par la société californienne *Better Place* qui est à l'origine de cette technologie. Cette société s'est associée au constructeur Renault, lequel a développé une version spécifique de sa berline Fluence, la Renault Fluence Z.E. (Cf. **Partie 1**).

Figure 23 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas de la « locomotion semi-rigide » :



Pour sa part, le mode « tournée » est – par définition – exclusivement associé aux usages professionnels (**Figure 24** : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas du mode « tournée »). Notons que la longueur des branches ne dépend pas tant du cadre spatial des déplacements, mais plus fondamentalement du degré de connaissance *ex-ante* du parcours et de la distance à effectuer. On postulera que dans le cadre urbain, l'écart maximal des bornes inférieures et supérieures des distances parcourues est *a priori* plus réduit que dans un contexte périurbain ou extra-urbain.

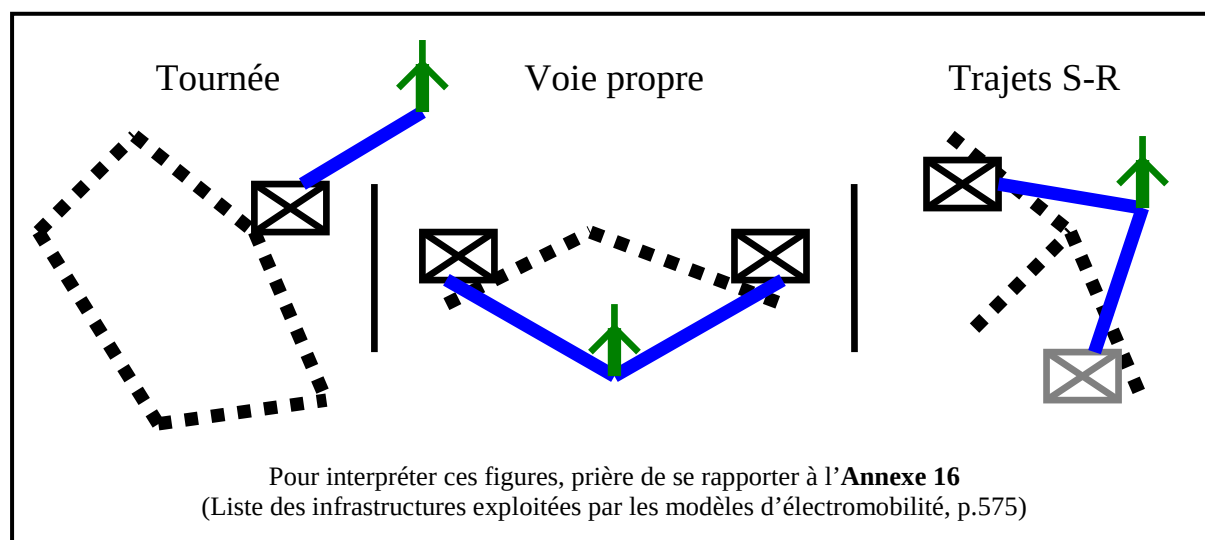
Figure 24 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas des « tournées » :



Afin de clore notre analyse des physionomies s'inscrivant dans le modèle « substitution rigide », ainsi que pour mieux interpréter les enjeux techniques et économiques de leur implémentation, il nous semble utile de faire apparaître les multiples couches d'infrastructures qu'ils exploitent et, par-là, de rendre compte des différents acteurs qui s'avèrent alors parties prenantes (**Figure 25** : Modèle « substitution rigide » : infrastructures techniques et acteurs).

Les cas des déplacements en voie propre et des « tournées » donnent des configurations assez primitives au regard de leur simplicité technique.

Figure 25 : Modèle « substitution rigide » : infrastructures techniques et acteurs :



Ce type de système de mobilité peut s'imposer, dans la mesure où la connaissance *ex-ante* que l'on a des trajets permet de contourner les limites de l'AE en termes d'autonomie et de durée de recharge, puisque les performances de l'AE sont expressément calibrées aux besoins exprimés par les opérateurs de transports, les usagers, ou encore, les professionnels. En corollaire, nous pouvons affirmer que l'implémentation et l'optimisation de ces systèmes d'électromobilité sont d'autant plus aisées que la connaissance *ex-ante* des parcours et des distances est fine, c'est-à-dire à mesure que l'écart maximal des bornes inférieures et supérieures des distances parcourues se réduit.

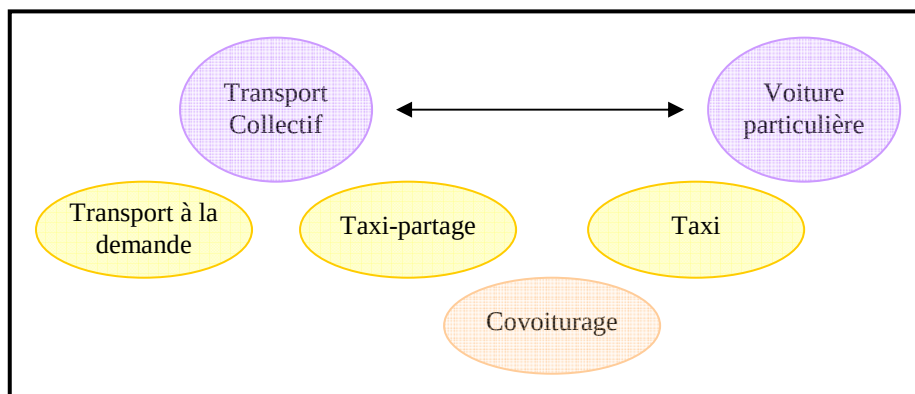
2. Le modèle « substitution flexible ».

Le modèle « substitution flexible » s'assimile à un « système à état » par l'absence de régulation *ex ante*. Il ne s'agit donc pas, à proprement parler, d'un système d'électromobilité. Cette régulation *ad hoc* est, en fait, associée au jeu des déplacements non coordonnés, voire non prédéfinis, qui sont effectués par les usagers de la route. Ce sont des particuliers ou des professionnels qui se déplacent pour des motifs liés aux loisirs, à l'activité professionnelle ou suivant une logique pendulaire entre les bassins d'habitat et les lieux d'activités. Le rayon de ces déplacements façonne le périmètre des « territoires vécus » (Frémont, 1976), formes de synthèses de l'organisation territoriale à travers les pratiques quotidiennes de leurs habitants et des voyageurs de passage, notamment dans l'aire d'influence des pôles de services. Par-là, le « territoire vécu » s'oppose au territoire administratif, puisque ses limites sont mouvantes. Bien qu'ils se superposent particulièrement aux propriétés de l'AE, nous n'analysons pas les « déplacements en site propre ». Effectués dans le cadre clos d'espaces dédiés, tels que des milieux portuaire et aéroportuaire, ou les enceintes d'une usine et d'un parc d'attraction, ces déplacements ne relèvent pas d'une lecture en termes de spatialisation urbaine, périurbaine et extra-urbaine.

Dans le modèle « substitution flexible », les AE sont commercialisées et utilisées de manière analogue à leurs homologues thermiques. De fait, elles ne sont pas chapeautées par un système qui en régulerait l'usage ou les déplacements. Pour autant, le modèle « substitution » ne fait pas seulement référence au remplacement pur et simple des véhicules à moteur à explosion par l'AE, mais également à d'autres formes de déplacement novatrices qui gravitent entre deux modalités génériques, la voiture particulière et les transports collectifs (**Figure 26** : Solutions « durables » de déplacement : quelques déclinaisons). Notons que ces formes de

déplacement représentent, elles-mêmes, seulement une portion congrue des alternatives de déplacement offrant une plus-value écologique (**Annexe 33** : Solutions « durables » de déplacement : un panorama exhaustif, p.585).

Figure 26 : Solutions « durables » de déplacement : quelques déclinaisons :



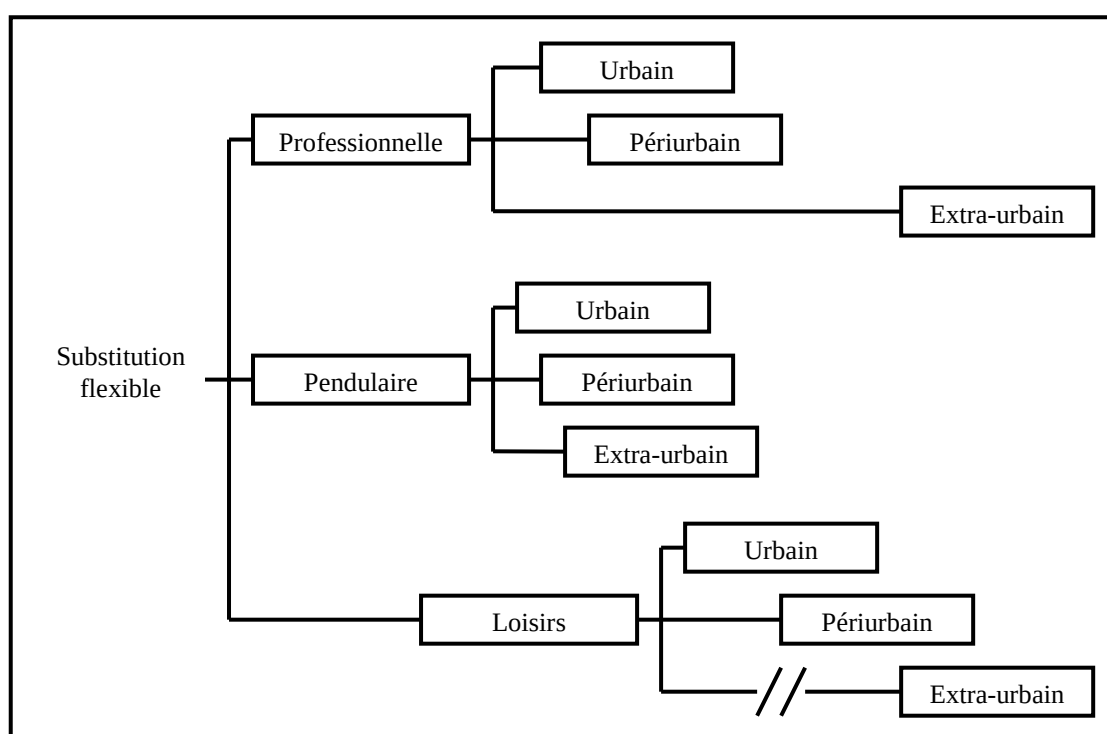
Source : Adapté de CERTU (2007.b)

Parmi les solutions de mobilité « durables », l'importance du covoiturage va croissante. Il consiste « en l'utilisation commune d'un véhicule par un conducteur non professionnel et un (ou plusieurs) passager(s) dans le but d'effectuer tout ou une partie d'un trajet commun » (Certu, 2007.a, p.11) et se développe sous divers aspects, adossés aux mobilités pendulaires, aux déplacements de longue distance, ou bien encore sous une forme « dynamique ». Dans ce cas, conducteurs et passagers sont mis en relation en temps réel grâce à une plateforme en ligne assurant l'appariement des offres et demandes de mobilité depuis des terminaux mobiles. Apparenté à un transport collectif régulier, le taxi-partage consiste, pour un même taxi, à regrouper plusieurs courses dont les points d'arrivée sont géographiquement proches.

Le régime spatio-temporel du modèle « substitution flexible », dont la principale propriété est que les déplacements évoluent selon des comportements non prédéfinis et non préformés, fait apparaître une adéquation variable de l'électromobilité en fonction des contextes (**Figure 27** : Dendrogramme du modèle « substitution flexible »). Alors que la variabilité des déplacements

liés aux loisirs et aux trajets professionnels s'accommode mal à l'AE, dont la faiblesse de l'autonomie et la durée de la charge sont de véritables « fils à la patte », la connaissance *ex-ante* des parcours effectués dans le cadre des mobilités pendulaires favorise l'adaptation de l'AE. Cette adaptation est néanmoins associée au cadre urbain ou périurbain des mobilités pendulaires, car les trajets au long-cours conviennent également peu aux performances de l'AE.

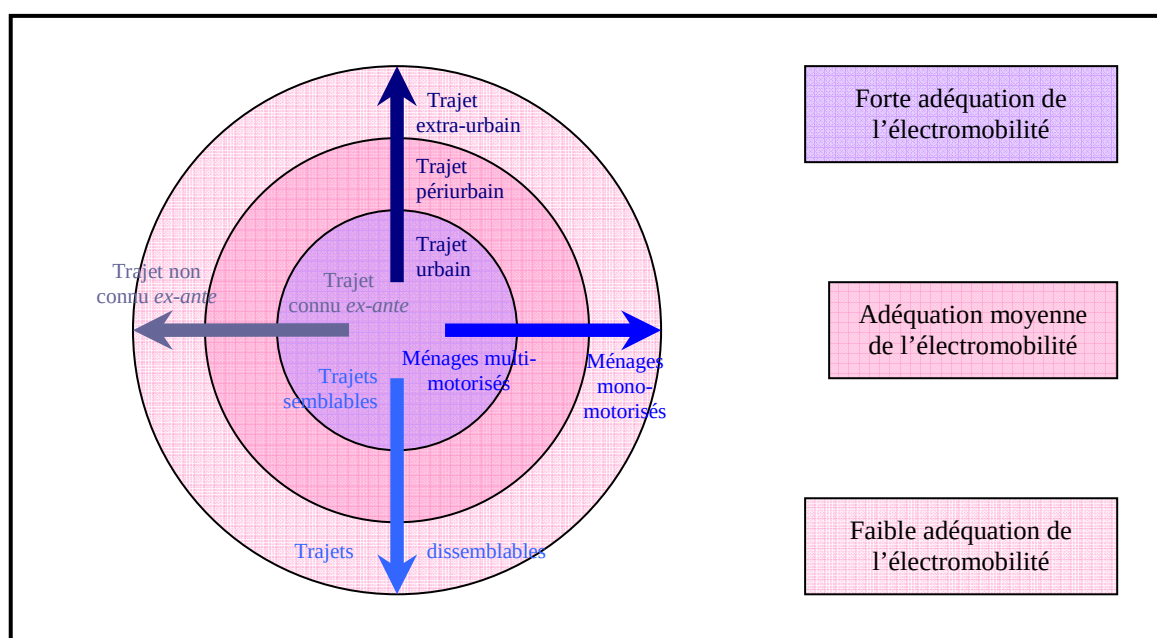
Figure 27 : Dendrogramme du modèle « substitution flexible » :



En ce qui concerne les déplacements professionnels, il existe trois variables discriminantes. Il s'agit de la connaissance *ex-ante* des parcours, de leur caractère répétitif et du cadre spatial des trajets. De-là, l'électromobilité est d'autant plus adaptée que les parcours sont connus *ex-ante* et/ou souvent répétés à l'identique, de même que lorsqu'ils s'effectuent dans un cadre urbanisé. *A contrario*, l'électromobilité est d'autant moins adaptée aux déplacements professionnels que les parcours sont peu connus *ex-ante* et non récurrents, *a fortiori* lorsqu'ils s'effectuent dans un cadre extra-urbain.

En ce qui concerne les trajets de loisirs, à ces trois variables discriminantes s'ajoute une quatrième, qui est relative au niveau d'équipement automobile des ménages. Toutes choses égales par ailleurs, un ménage mono-motorisé utilisera son véhicule tant pour les trajets de proximité, que pour les grandes transhumances (départs en week-end, en vacances, etc.), tandis qu'un ménage multi-motorisé segmentera fréquemment l'utilisation de ses véhicules. L'un d'eux pourra servir, de manière privilégiée, aux trajets de proximité et récurrents, pour lesquels l'AE est fortement recommandable. La **Figure 28** synthétise ces informations.

Figure 28 : Adéquation de l'électromobilité aux trajets de loisirs : un raffinement :



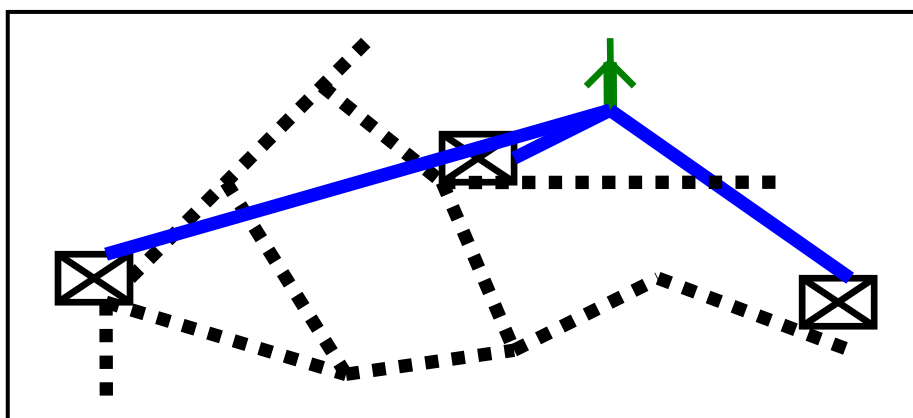
Source : Représentation de l'auteur

Il faut noter que dans le cadre du modèle « substitution flexible », nous avons polarisé notre attention sur une AE conventionnelle, dont la batterie est fixe et solidaire du châssis du véhicule. Toutefois, comme nous l'avons vu précédemment, certaines AE sont dotées de batteries amovibles, interchangeables à volonté par l'intermédiaire de stations d'échange de batteries. Cette précision est importante, puisque la batterie amovible pallie en partie le problème de méconnaissance *ex-ante* des parcours et les autres facteurs contingents liés aux trajets de loisirs. En cela, elle déplace les frontières d'adéquation de l'électromobilité

(Annexe 34 : Adéquation de l'électromobilité aux trajets de loisirs : le cas des batteries amovibles, p.586) et ne s'adresse finalement pas uniquement aux flottes de taxis.

De par l'absence de régulation – en dehors d'une régulation humaine – de ce système, les enjeux techniques et économiques d'implémentation du modèle « substitution flexible » sont limités (**Figure 29** : Modèle « substitution flexible » : infrastructures techniques et acteurs). En effet, cette implémentation met aux prises des usagers, dont les comportements sont dictés par leurs besoins de mobilité, avec des gestionnaires d'infrastructure de charge, dans le cas des bornes de charge accessibles au public. Toutefois, un nombre considérable de points de charge seront « privatifs », dans les habitations individuelles, ou « semi-privatifs », dans les immeubles d'habitation et au sein des locaux d'entreprises⁹⁵. Dans ce cadre, le point de faiblesse du modèle « substitution flexible » est relatif à la dimension énergétique, puisque la recharge – non coordonnée par un opérateur de mobilité électrique et/ou un agrégateur de charges – de nombreuses AE est susceptible de dégrader l'efficacité du système énergétique.

Figure 29 : Modèle « substitution flexible » : infrastructures techniques et acteurs :



⁹⁵ En France, un « droit à la prise » permettra, à terme, de multiplier le nombre des prises accessibles aux AE, y compris dans les lieux d'habitations collectives. La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010, dite Grenelle II, publiée au Journal officiel du 13 juillet 2010, prévoit que depuis le 1er juillet 2012, les parkings des immeubles et des bureaux neufs doivent être équipés d'installations de recharge pour véhicules électriques (VE) ou hybrides.

Au vu des éléments précédents, il semble que l'adaptation de l'électromobilité au modèle « substitution flexible » est très contrastée. Pour nombre d'usages, les limites intrinsèques de l'AE en termes d'autonomie et de durée de charge invitent à la circonspection, expliquant que ce mode de diffusion n'a jamais percé durant l'histoire de l'électromobilité. Le contexte pourrait toutefois évoluer. Outre le cas des batteries amovibles, l'adjonction d'une intelligence embarquée par l'entremise de systèmes d'information et de communication à l'AE peut constituer une béquille technique et lui apporter une relative flexibilité à l'usage. A ces deux conditions, l'AE ne serait plus une solution essentiellement rationnelle pour les déplacements bénéficiant d'une connaissance *ex-ante* des parcours par leurs acteurs. Au-delà de cet aspect, le modèle « substitution flexible » a amené à affiner notre appréhension des conditions d'adéquation de l'électromobilité propres aux différents régimes spatio-temporels identifiés. En particulier, il a permis de souligner l'acuité du cadre spatial de la mobilité et du niveau d'équipement en automobile des ménages pour le cas des déplacements liés aux loisirs.

3. Le modèle « autopartage ».

Le modèle « autopartage » s'assimile à un « système à apprentissage » en vertu de la présence de mécanismes de calcul internes lui permettant, dans une certaine mesure, de s'auto-réguler. Cette auto-régulation relève d'une capacité à adapter ses décisions en fonction des données qu'il capte, à deux niveaux. En premier lieu, les systèmes d'autopartage administrés par un opérateur d'autopartage sont susceptibles, en fonction de l'état de l'offre en véhicules et de la demande en déplacements, de réachalander les lieux de retrait ou d'adapter leurs modes de tarification. En second lieu, le modèle « autopartage », qui s'envisage comme le maillon d'une organisation multimodale ou intermodale d'un système de transport, est capable d'orienter les usagers vers les combinaisons de modes de transport les plus opportunes, voire

de les réorienter en fonction de modifications des règles de fonctionnement liées à la panne d'un moyen de transport, la congestion des voies d'accès à une zone ou à un pic de pollution. A la suite d'une définition de l'autopartage, nous nous pencherons sur les propriétés spécifiques du modèle « autopartage », en tant que système d'électromobilité.

Quatre grands aspects caractérisent l'autopartage (CERTU, 2008). D'une part, il s'agit d'un système destiné à l'emprunt de véhicules pour des déplacements essentiellement de proximité. D'autre part, l'autopartage met à disposition des véhicules qui sont successivement utilisés par plusieurs utilisateurs. En cela, il se place à mi-chemin entre la voiture particulière et les transports collectifs réguliers (CERTU, 2007.b). En outre, une flotte de véhicules en autopartage est disponible à toute heure du jour et de la nuit en échange d'une adhésion au service ou d'un paiement à la consommation, nécessitant un simple appel téléphonique ou transitant par une réservation en ligne. Finalement, le coût d'usage de ces systèmes est lié à leur utilisation, en termes de temps d'utilisation et/ou de distance parcourue. Ainsi défini, l'autopartage se distingue du covoiturage, mais également de la location à deux titres. L'utilisateur est ici autonome depuis la réservation et jusqu'à la remise du véhicule. L'autopartage satisfait seulement des besoins de déplacement de courtes distances.

Plusieurs tendances structurantes impulsent l'émergence de l'autopartage, qui s'ouvre tant au marché des particuliers qu'à celui des professionnels. Outre le renchérissement des coûts d'usage et d'entretien des transports particuliers (ACA, 2012.b), les mobilités pendulaires et les déplacements professionnels s'intensifient et se complexifient sous les effets conjugués de l'étalement urbain et de la hausse des coûts fonciers qui poussent les firmes à investir le périurbain (Laugier, 2012). Du strict point de vue des particuliers, certaines enquêtes

soulignent l'étiollement de « l'instinct de possession » des conducteurs⁹⁶ et leur appétence pour l'usage des réseaux sociaux⁹⁷. Du côté des firmes⁹⁸, l'autopartage fait écho à deux faits stylisés, la montée en puissance de la Responsabilité Sociale et Environnementale des entreprises (RSE)⁹⁹ et l'externalisation des activités qui ne font pas partie du cœur de métier de l'entreprise (El Younsi, 2012).

Dans le cadre de mobilités de courtes distances, diverses formes d'autopartage s'adressent aux professionnels et aux particuliers (**Tableau 39** : Matrice de l'autopartage). Elles répondent aussi bien aux besoins de mobilités pendulaires qu'aux déplacements de loisirs. En particulier, parallèlement à la forme la plus commune d'autopartage – qui voit un opérateur d'autopartage proposer des véhicules en libre service aux particuliers, à l'image du système Autolib' parisien – le principe de l'autopartage se déploie sur un grand nombre de niches de marché. Dans certaines configurations, le service n'est pas intermédié par un opérateur d'autopartage mais laissé à la discrétion des entreprises ou des particuliers, réclamant des évolutions juridiques ou des innovations assurantielles pour se diffuser par-delà un cercle d'initiés.

⁹⁶ Dans un sondage réalisé en 2007, le journal nippon *Nikkei* indiquait que 25 % des tokyoïtes âgés de 20 à 30 ans déclaraient vouloir posséder une voiture en 2007, contre 50 % en 2000. En 2009, 79 européens et 62 français sur cent considéraient que la possession d'une voiture était devenue une contrainte (CETEM, 2009).

⁹⁷ Dans cet esprit, la société Zipcar (1999) offre la possibilité à une communauté d'utilisateurs d'avoir accès à une flotte de véhicules disséminée sur un territoire. En superposant les réseaux physique et sociaux, elle favorise une gestion distribuée du système appuyée sur l'Internet et assure une grande accessibilité des véhicules.

⁹⁸ D'après l'ADEME (2013), l'autopartage reste un service privilégié par les particuliers en France. En effet, seuls 15% des abonnés à une offre d'autopartage le sont à titre professionnel, alors même que 59% des abonnés ne recourent jamais à l'autopartage pour leurs trajets professionnels. Néanmoins, le potentiel est grand puisque l'usage des professionnels est complémentaire à l'utilisation des particuliers, ces derniers utilisant ce service majoritairement le soir et le week-end.

⁹⁹ La RSE a pour objet la mise en place de solutions pour les salariés à la frontière du travail. Dans cet esprit, les Plan de Déplacements Entreprise (PDE) poussent certaines firmes à proposer un service d'autopartage à partir de leurs propres flottes de véhicules. L'ADEME définit le PDE comme une « démarche visant à aborder de manière globale et intégrée la problématique de tous les déplacements liés à une entreprise ou un ensemble d'entreprises, en prenant un ensemble de mesures concrètes pour rationaliser les déplacements quotidiens des usagers du site d'emplois ou d'activités et développer des modes de déplacement plus respectueux de l'environnement. Le PDE s'intéresse aux déplacements des salariés et des autres usagers du site (clients, visiteurs, livreurs, stagiaires) ».

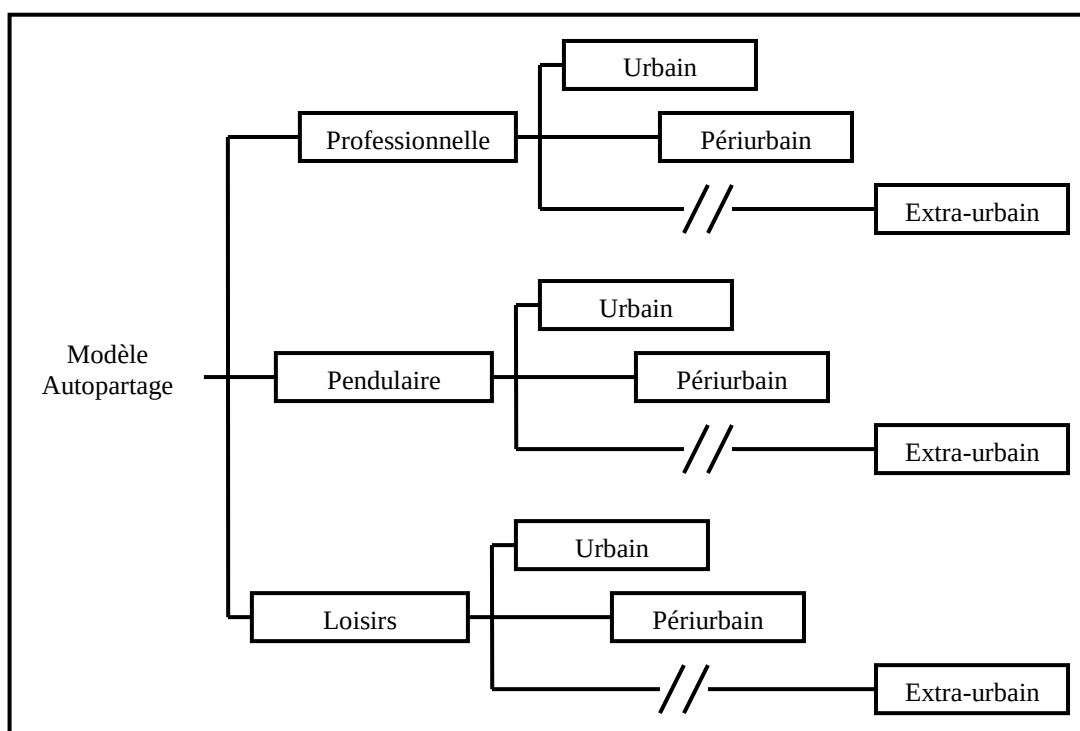
Tableau 39 : Matrice de l'autopartage :

	Usage professionnel	Usage privé
Véhicules particuliers	Utilisation du véhicule d'un collègue pour les déplacements professionnels	Autopartage « peer to peer » (C2C) (ex. Buzzcar, Cityzen Car)
Véhicules de flotte professionnelle	Flotte de véhicules mutualisés entre plusieurs entreprises	Véhicules d'entreprise accessibles aux salariés (ex. Bosch, PSA)
Véhicules gérés par un opérateur d'autopartage	Autopartage B2B (ex. Mobizen Pro, CarBox)	Autopartage B2C (ex. Autolib', Mu by Peugeot)

Source : Adapté de CERTU (2007.b)

Afin d'analyser quels sont les régimes spatio-temporels s'associant idéalement au modèle « autopartage », il est nécessaire de replacer ce dernier dans un cadre plus vaste et de considérer l'autopartage comme l'un des maillons d'un bouquet de transports reposant sur une organisation multimodale ou intermodale des trajets (**Figure 30** : Dendrogramme du modèle « autopartage »). Intégré comme tel, l'autopartage se déploie en milieu urbain et perd en pertinence à mesure que l'on s'éloigne des espaces urbanisés, puisque l'accès aux bornes (stations d'autopartage) et aux pôles intermodaux est essentiel. Or, ces derniers se raréfient dans les espaces périurbains et extra-urbains, puisque la densité des infrastructures de transport va, par définition, en décroissant. Cette dimension est prégnante pour le modèle « autopartage », bien qu'elle fasse surtout écho à la modalité la plus conventionnelle, la mise à disposition de véhicules pour les particuliers par un opérateur d'autopartage.

Figure 30 : Dendrogramme du modèle « autopartage » :



L'écart existant entre le cas des loisirs et celui des migrations pendulaires et des mobilités professionnelles est lié à la situation géographique des stations d'autopartage. En effet, celles-ci se confondent plus volontiers avec les bassins de vie et d'habitations, ainsi que les pôles de services intermédiaires et d'activité commerciales, qu'avec les zones d'emplois. L'exception reste les pôles d'entreprises, qui disposent de la taille critique pour recourir à l'autopartage.

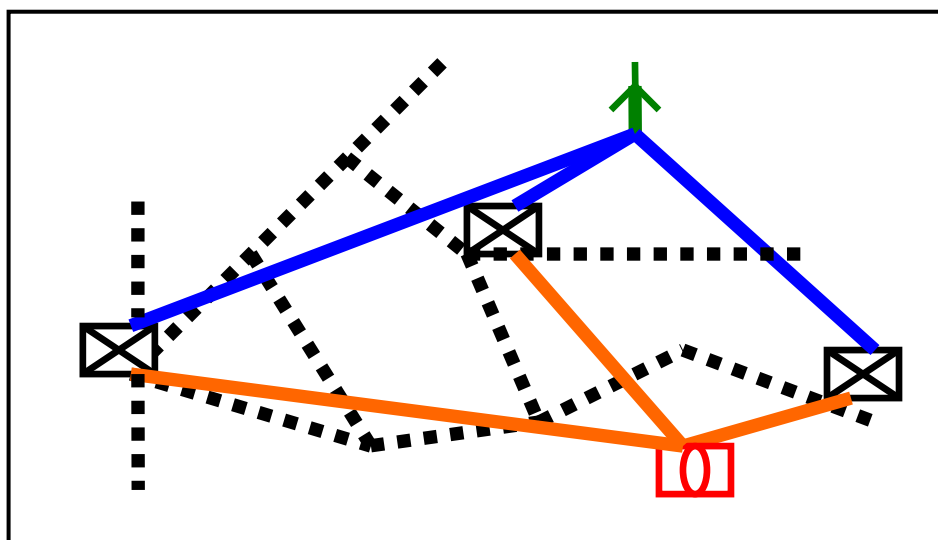
Lorsque l'on considère le modèle autopartage sous la forme d'un système d'électromobilité assimilable à un maillon du système de transport, il est opportun de s'appuyer sur l'économie des réseaux¹⁰⁰ pour comprendre comment il s'implémente. Dans ce champ, Chesnais (1980) distingue trois éléments en interaction directe au sein d'un système de transport. Il s'agit des moyens physiques, prenant la forme des infrastructures et des véhicules, qui composent la flotte. Il s'agit également des agents techniques, assumant le rôle de l'entretien et de la réalisation du mouvement, ainsi que des agents commerciaux, c'est-à-dire l'opérateur, qui

¹⁰⁰ Voir Curien (2000) pour un panorama exhaustif sur l'économie des réseaux.

apprécie la demande et organisent les transports en conséquence. Tous ces éléments sont « soumis conjointement à une fonction de régulation qui traite l'information, tant de l'extérieur que de l'intérieur du système de transport, et ajuste les décisions » (Chesnais, 1980, p.8). Le régulateur s'applique, par-là, à analyser la population d'utilisateurs du système simultanément sous les angles microscopique et macroscopique, ainsi qu'à travers des modalités à la fois numérique et physique (Ratti, 2009).

En lien avec notre représentation des couches d'infrastructures pour le modèle « autopartage » (**Figure 31** : Modèle « autopartage » : infrastructures techniques et acteurs) et l'économie des réseaux, rappelons que dans cette littérature, les activités en réseau sont segmentées en trois couches, comprenant l'infrastructure, l'infostructure et les services finals. À partir de cette grille, on modélise un système de transport par le jeu des interactions entre ces trois composantes (Le Moigne, 1977). Dans notre cas, l'infrastructure prend la forme de stations d'autopartage, et non de bornes *stricto sensu*. L'infostructure, c'est-à-dire le « système d'information », transmet en temps réel des informations contextuées à un « système de décision » – automatisé ou non – qui coordonne le système de transport par des actions de régulation s'appuyant sur son expérience antérieure et sur les informations qu'il reçoit. Il s'agit du rôle tenu par les opérateurs d'autopartage.

Figure 31 : Modèle « autopartage » : infrastructures techniques et acteurs :



Notre appréhension du modèle « autopartage » ne serait pas complète sans mentionner la contribution active des acteurs du déplacement, dont l'importance va croissante pour les systèmes de transports avancés (Coquio, 2008). Ce changement de paradigme se rapporte à deux dynamiques imbriquées et complémentaires. D'une part, l'*Internet* des objets est vecteur d'innombrables applications et prestations qui permettent d'optimiser les performances du système de transport en introduisant une dimension dynamique¹⁰¹. Cette propriété entraîne de profonds changements, dont le plus significatif est la place accordée aux données devenant collaboratives. Elles puisent, en effet, leur source dans le concours des usagers, des régies publiques de transport et des acteurs privés du transport (*Vinci, NavTech, Coyote*) et du traitement de l'information (*Google, Yahoo!*). D'autre part, le territoire constitue la clé de voûte de la compréhension des flux de déplacement. La dispersion des données dans l'espace et dans le temps révèle, en effet, la granularité de l'information, dont la première variable

¹⁰¹ Notons que la qualité de l'information sur le temps d'attente entre deux modalités de transport peut rendre ce temps de latence « productif ». Les sociologues parlent d'un enrichissement quantitatif du temps, alors considéré comme une ressource employée pour réaliser des tâches sociales (pressing, point presse, espace fumeurs), administratives et/ou familiales (Coggins et Senauer, 1999).

d'enrichissement est le « géocodage ». Dans ce cadre, « l'actualité se conjugue à la localité de la donnée pour produire une trame circonstanciée, vivante, dynamique, organique »¹⁰².

Parce que les caractéristiques de l'autopartage correspondent étroitement aux propriétés de l'AE en termes d'autonomie et de durée de charge pour les trajets de proximité¹⁰³, mais également en termes de coûts d'achat et d'usage (Cf. **Partie 1**), l'adéquation de l'électromobilité au modèle « autopartage » est assujettie à l'ancrage de l'autopartage en tant que maillon d'une organisation multimodale ou intermodale des systèmes de transports. Ce type d'approche globale de la mobilité se présente aujourd'hui essentiellement sous les traits de systèmes aux périmètres limités dans l'espace aux milieux urbains ou à des segments particuliers de transports (ligne de bus, tramway), puisqu'ils nécessitent l'existence de nœuds intermodaux et recourent à des passes magnétiques multimodaux ou à d'autres dispositifs intégrateurs coûteux et dont les modèles d'affaires restent à valider¹⁰⁴. Cette mutation se superpose à une révolution du secteur automobile, où le véhicule devient le support d'une offre en bouquet de services pour proposer aux usagers une offre plus complète que la seule fonction utilitaire qui s'y rattachait jusqu'alors. Le modèle « multifactes » pousse plus loin encore cette logique.

¹⁰² Citation de Bruno Marzloff, Colloque DatAct, Open data – des villes en mouvement, du 16/06/2011.

¹⁰³ A ce titre, précisons que l'AE ne satisfait pas toutes les formes d'autopartage mentionnées dans le **Tableau 39** (p.242), mais qu'il est adapté aux principes d'autopartage les plus usuels (**Annexe 29**, p.583).

¹⁰⁴ Entre l'*open data*, où l'ouverture des données est fondée sur un principe de réciprocité, et le « free data », un continuum de modèles économiques sont susceptibles de financer la constitution de bases de données et leur utilisation par les opérateurs de transports, intervenant à tous les niveaux de la chaîne de valeur. En outre, la diffusion du modèle « autopartage » butte sur des contraintes de diffusion des informations personnelles, que ces verrous soient d'ordre légal (Commission nationale de l'informatique et des libertés), générationnel, ou liés à des inégalités cognitives et financières d'accès aux informations et aux outils mobilisés par le système.

4. Le modèle « multifactes ».

Dans la typologie de Lesourne (1976), le modèle « multifactes » s'assimile à un « système complexe », car il se compose de plusieurs « systèmes à buts ». Comme nous l'avons vu, les fonctionnalités de ce type de bien-système sont, en effet, augmentées par le croisement de biens, services et/ou infrastructures. Dans notre acception, deux fonctions ou finalités sont assurées par le modèle « multifactes », la « fonction de mobilité » et la « fonction de stockage (d'électricité) », dont nous proposons d'explicitier les contours respectifs.

Le périmètre de la « fonction de stockage » de l'AE ne peut se saisir sans aborder la question de l'intégration des énergies renouvelables (EnR) intermittentes aux systèmes électrique et énergétique existants. Tandis que l'avènement de l'AE interroge déjà le dimensionnement des systèmes électrique et énergétique, les EnR intermittentes font intervenir des contraintes techniques connexes. En effet, lorsque s'ajoutent des sources versatiles aux variations de la demande d'électricité, les variations imprévues de l'offre des producteurs constituent un aléa additionnel qui doit être compensé (Menanteau et al., 2003). Rappelons que l'électricité est un flux, qui ne peut être stocké, mais seulement convertie. Schématiquement, cette propriété occasionne le fait que le niveau de la production d'électricité doit [à tout moment] se superposer rigoureusement au niveau de la consommation. L'intégration de sources d'énergie intermittentes génère ainsi des coûts techniques liés aux capacités de production et aux réserves supplémentaires dans lesquelles il est nécessaire d'investir à mesure que les énergies renouvelables imprègnent le mixte énergétique (Milborrow, 2001).

Nous avons vu en **Partie 1** qu'une solution d'intégration des EnR intermittentes, peu onéreuse et capitalisant sur les caractéristiques systémiques de l'AE, s'esquisse. Dans un système

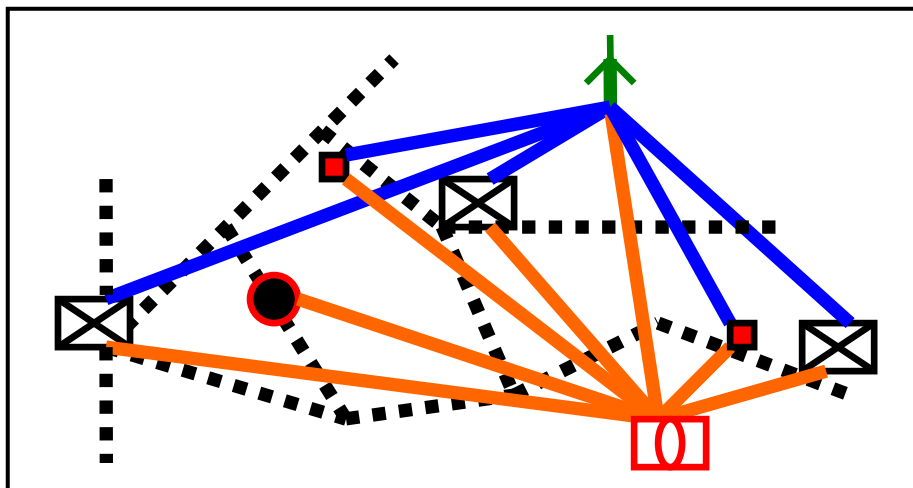
s'appuyant sur les *smart grids*, l'AE devient un maillon central du système énergétique en stockant transitoirement de l'électricité, marquant le passage d'un système énergétique centralisé à une gestion décentralisée des sources d'électricité. Au-delà de la consommation, par définition locale, le stockage – voire la production d'électricité – se conçoit ainsi de plus en plus dans un horizon hyperlocal. De ce point de vue, le bénéfice lié à la capacité de stockage de l'AE est dual.

D'une part, tandis que jusqu'ici, le pic de production des énergies éolienne et photovoltaïque ne se superposait pas avec le pic de consommation d'électricité, sans réelle possibilité de stocker l'énergie produite, l'introduction combinée des *smart grids* et de l'AE simplifie le défi de leur intégration respective. D'autre part, en permettant d'absorber l'excédent d'électricité en période creuse de consommation d'électricité et de le dégager sur le réseau aux heures de pointe, il est possible de tirer un revenu de l'AE en maximisant le différentiel de valeur (dit « *spread* ») entre le prix de l'électricité à l'achat et son prix à la revente sur un marché de l'électricité. Dans ce cadre, l'AE s'assimile à une centrale électrique virtuelle répartie.

Le management croisé de la « fonction de mobilité » et de la « fonction de stockage » est le fait de nouveaux acteurs qui sont issus des industries télécoms et énergétique. Bien que cette terminologie ne soit pas stabilisée, nous les nommons « opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges ». En tant que tels, ils se distinguent des seuls opérateurs de mobilité électrique, en assurant – outre la gestion de l'autonomie d'une flotte d'AE par l'usage des TIC – un service d'optimisation de l'impact de leur recharge sur le réseau électrique par l'agrégation des capacités de stockage de leurs batteries, en particulier. En d'autres termes, ils offrent un plan énergétique adapté aux mobilités des utilisateurs. Se faisant, ils arrangent le découplage entre les industries énergétique et de la mobilité, de même que le bouclage

entre les infrastructures routières, énergétiques, électriques et télécoms (**Figure 32** : Modèle « multiface » : infrastructures techniques et acteurs).

Figure 32 : Modèle « multiface » : infrastructures techniques et acteurs :



Afin d'assurer ce bouclage et de proposer une prestation globale de management de l'usage et de la recharge des AE, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges veillent à la coordination d'un système complexe, reposant sur l'échange d'informations de nature multiple, dont ils sont l'origine ou la destination. Ces informations relèvent, tout à la fois, de l'accès à l'infrastructure publique et privée de charge, en termes de positionnement et de disponibilité, de la maîtrise – en temps réel – du niveau de charge de l'AE, ou encore de la maîtrise de la modulation en charge de L'AE en fonction d'un degré de priorité préétabli. L'AE devient connectée en permanence, ainsi que le support d'une « suite servicielle », c'est-à-dire un point d'entrée à toute une gamme de services de gestion des déplacements et des charges. Ce type d'offre émerge sous la forme de deux physionomies distinctes.

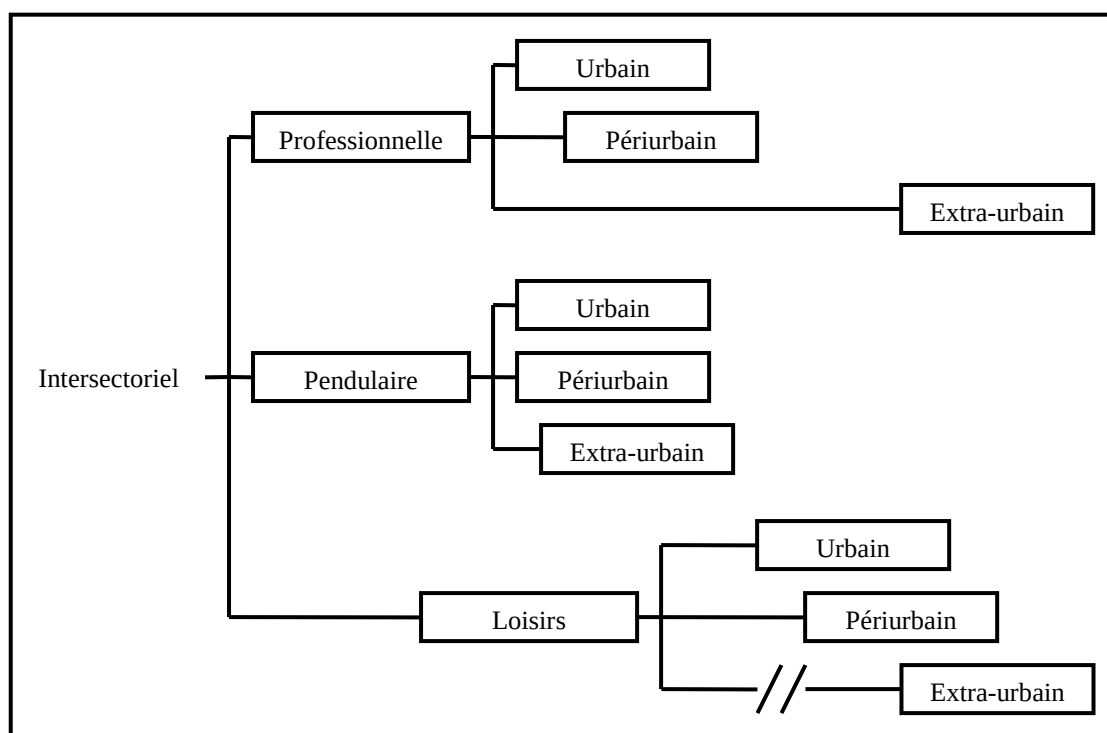
La première s'appuie sur des AE équipées de batteries amovibles, c'est-à-dire interchangeables par l'intermédiaire de stations d'échange de batteries, dont l'intérêt est, pour les utilisateurs, de minimiser le temps nécessaire pour recharger une AE et, par-là, d'en

maximiser l'usage. Dans ce cas, l'interconnexion s'opère entre les batteries et le réseau énergétique par le biais des stations d'échange des batteries qui stockent de grandes quantités d'électricité, via les accumulateurs qu'elles accueillent. La seconde modalité s'appuie sur la gestion de flottes d'AE, pour lesquelles l'interconnexion entre les batteries et le réseau énergétique transite par le branchement de l'AE à une prise à domicile ou sur le lieu de travail. Ces physionomies ne se substituent pas et s'adressent à des usages et – plus généralement – à des demandes distinctes. Alors que les AE à batteries amovibles s'adressent à des utilisateurs, professionnels ou particuliers, désireux de maximiser l'usage de leur (flotte) d'AE grâce à la rapidité de l'opération et à l'allongement de l'autonomie qu'elle occasionne, les AE raccordées au réseau et stockant de l'électricité s'adressent, avant tout, aux utilisateurs plus occasionnels, afin de maximiser les périodes de raccordement au réseau électrique. Si ces deux physionomies se différencient quant aux clients auxquels elles se destinent, elles induisent toutes deux l'adoption de modèles d'affaires dans lesquels les usagers ne sont plus nécessairement les propriétaires des batteries ou de l'AE, mais s'acquittent d'un abonnement pour les louer.

Il apparaît implicitement que la gestion optimisée des périodes de charge et de décharge des AE par les opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges doit s'articuler intimement à la question des déplacements. En effet, ces derniers induisent le volume de charge nécessaire pour parcourir une distance donnée et conditionnent le laps de temps durant lequel l'AE est raccordée au réseau électrique. Afin de minimiser les périodes pendant lesquelles l'AE se départit de son rôle de maillon du système électrique et pour optimiser l'impact des recharges des VE sur le réseau électrique, ces systèmes sont essentiellement conçus autour du principe d'agrégation des capacités de stockage des batteries à travers le filtre d'un pilotage par les profils de chargement et d'utilisation des flottes d'AE.

C'est, en effet, par le croisement simultané de la connaissance *a priori* des utilisations habituelles ou pré-établies des AE et de l'offre et la demande agrégées d'électricité que les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges peuvent recharger les AE à bon escient. Il leur faut ainsi concilier la maximisation de leurs revenus et le service aux consommateurs, qui doivent être assurés de bénéficier d'une autonomie en phase avec leurs attentes. Ce lien étroit aux considérations temporelle et spatiale donne lieu à une correspondance entre le modèle « multiface » et les régimes spatio-temporels adoptés se rapprochant fortement du modèle « substitution flexible » (**Figure 33** : Dendrogramme du modèle « multiface »). A nouveau, la connaissance *ex-ante* des déplacements intervient favorablement, tandis que les migrations pendulaires profitent du rôle de maillon du système électrique tenu par l'AE, lorsqu'elle est raccordée au réseau électrique à domicile, mais également potentiellement chez l'employeur.

Figure 33 : Dendrogramme du modèle « multiface » :



L'enseignement essentiel de ce développement est que le modèle « multifactes » représente la forme la plus significative d'appréhension de l'AE comme « bien-système ». En premier lieu, cette assertion s'appuie sur le fait que les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges s'inscrivent pleinement dans une perspective systémique, en contribuant à mettre en cohérence des offres et demandes de déplacement d'une part, et d'électricité d'autre part. Une telle perspective implique que l'émergence du modèle « multifactes » est associée intrinsèquement à la diffusion de passerelles technologiques (Bunn et David, 1988), à l'image des *smart grids*. En second lieu, l'émergence de ce modèle est intimement liée à la capacité et la dextérité de ces nouveaux acteurs à superposer effectivement des mobilités et des systèmes électriques, souvent très spécifiques et soumis à nombre de contingences. Cette aptitude varie, par exemple, selon le niveau de pénétration des énergies renouvelables intermittentes et de leur répartition spatiale, en fonction du caractère régulé ou libre du marché de l'électricité.

Conclusion du Chapitre 2.

A partir du déroulé précédent, centré sur les systèmes d'électromobilité, et en faisant un détour par les résultats du **Chapitre 1**, nous sommes en mesure de préciser quels sont les points durs de l'émergence et de la diffusion de l'AE. Il nous semble pouvoir isoler trois principaux points durs, formant un triptyque de facteurs génériques, mais également imbriqués. Nous distinguons, d'une part, les caractéristiques intrinsèques de l'AE, en termes d'autonomie, de durée de la charge ; d'autre part, le couple formé par les usages et déplacements [automobiles], c'est-à-dire le niveau d'adéquation entre les caractéristiques de l'AE et la nature des mobilités des personnes ou des marchandises ; enfin, les propriétés du territoire, en termes de maillage en infrastructures de natures multiples, qu'elles soient

routière, énergétique, électrique ou télécoms. Notons que l'acuité de ces facteurs est liée aux configurations spécifiques de chacun des systèmes d'électromobilité.

Pour les modèles du type « substitution », les caractéristiques intrinsèques de l'AE, en termes d'autonomie et de durée de la charge semblent être les éléments les plus conditionnants, dans la mesure où ils en limitent le champ d'action. Pour le modèle « autopartage », les usages et déplacements semblent prépondérants car l'automobile partagée est appréhendée comme le maillon d'un bouquet de transports devant couvrir toute la gamme des besoins de mobilité des usagers, en termes de disponibilité dans le temps et dans l'espace, ainsi que d'accessibilité aux personnes. Le modèle « multifactes » place l'emphasis sur les propriétés du territoire, qui ont notamment trait à la nature du mixte énergétique, à la distance entre les lieux de production et de consommation d'électricité et aux politiques publiques volontaristes de soutien aux énergies renouvelables intermittentes.

Si la présentation schématique par grands modèles d'émergence de l'électromobilité nous a permis de se focaliser sur les traits les plus saillants de chacun des systèmes, nous désirons désormais mettre en exergue certaines tendances d'ordre plus général.

La nature de l'AE est d'ordre utilitaire, de sorte qu'elle étrenne l'idée d'une prédominance de la fonction sur la possession du produit. Si cette affirmation s'est jusqu'ici cantonnée au modèle « autopartage », elle se prolonge aux autres systèmes d'électromobilité repérés. D'abord implicitement, à partir du constat suivant lequel l'AE satisfait – avant tout – les déplacements les plus « rigides », c'est-à-dire les mieux connus ex-ante. Dans cette veine, si l'activité d'opérateur de mobilité concourt à garantir une utilisation plus flexible de l'AE, il n'en reste pas moins que le métier d'agrégateur de charges impose une connaissance fine de leurs habitudes de déplacements et s'accorde mal aux déplacements occasionnels. Au

croisement de la question des comportements de mobilité et de la logique fonctionnelle se dégageant du concept de « suite servicielle », l'offre « Mu by Peugeot » étaye également le caractère essentiellement utilitaire de l'AE. Elle consiste à offrir une AE à géométrie variable qui s'adapte aux besoins ponctuels des utilisateurs en leur offrant la possibilité de louer, à des conditions tarifaires avantageuses, un mode de transport correspondant (monospace, utilitaire, etc.).

L'émergence de l'AE a un caractère éminemment territorialisé. Cette dimension, présente dans les régimes spatio-temporels, mérite d'être précisée, afin d'épouser plus fidèlement les contours de l'émergence de l'AE et de l'implémentation des systèmes d'électromobilité. En particulier, la gestion des flux de déplacements et, dans certains cas, des périodes de charge et décharge des AE, est articulée à la problématique territoriale, car ces données doivent être contextualisées pour gagner en valeur. En effet, l'optimisation des systèmes d'électromobilité est fondamentalement liée à la localisation géographique des activités sociales et économiques, à la composition sociale (densité de population, pyramides des âges, niveau de solvabilité), ou encore au parc de véhicules existant et à la proportion de transports privés et collectifs. En outre, nous avons vu que l'AE forme un bien-système avec le réseau de bornes/stations de recharge en électricité, de sorte que le territoire se conçoit également au travers de son mixte énergétique, de la distance entre les lieux de production et de consommation d'électricité et des politiques publiques volontaristes de soutien aux énergies renouvelables intermittentes.

Plus que la densité des points de charge maillant un territoire, les innovations embarquées dans le véhicule, de même que celles intégrées dans les bornes de recharge constituent un enjeu primordial pour l'émergence de l'AE. En effet, avec de tels outils, l'utilisateur est rassuré quant à l'autonomie de son véhicule, ainsi que sur la facilité et la rapidité de sa

recharge. Pour cela, l'AE peut compter, en même temps qu'elle les favorise, sur les progrès de la télématique. De nombreux acteurs développent ainsi des interfaces permettant d'accéder à des services en ligne à partir de multiples supports¹⁰⁵.

Dans le prolongement, notre analyse des systèmes d'électromobilité ne serait complète si nous passions sous silence le fait que l'AE se conçoit comme le socle d'une suite servicielle. Si cette assertion semble évidente pour les modèles « autopartage » et « multiface », dans lesquels il est respectivement le maillon et le support de « bouquets de services », elle se vérifie également pour les modèles « substitution ». Conformément au concept d'économie de la fonctionnalité, des services d'assistance en cas de panne sont, par exemple, introduits dans nombre de contrats de vente ou de location d'AE¹⁰⁶. Parallèlement, l'AE est rendue plus intelligente et ses fonctionnalités sont étendues par la greffe de systèmes de géolocalisation par satellites (GPS) capables de tenir compte de l'autonomie restante pour calculer au plus juste les itinéraires s'avérant les moins dispendieux en énergie, tout en interrogeant les bornes de charge afin de savoir où se situent les plus proches, si elles sont disponibles et – le cas échéant – les réserver. Outre certains constructeurs ou consortiums¹⁰⁷, ces systèmes sont conçus par les opérateurs de mobilité et/ou agrégateurs de charges, dont nous proposons de préciser les marchés et les modèles d'affaires. Dans ce cadre, nous interrogerons leurs implications quant à l'émergence et à la diffusion de l'AE.

¹⁰⁵ Renault équipe sa Zoé d'une tablette tactile connectée à l'Internet, qui renvoie vers des applications destinées à l'électromobilité, accessibles depuis une plateforme de téléchargement. En Juillet 2012, BMW a annoncé son entrée dans le capital de Coulomb Technologies, un opérateur de mobilité électrique, afin d'accéder à son savoir-faire. Pour sa part, Google utilise son service « Google Maps » pour localiser les AE, indiquer des itinéraires pertinents et interroger, depuis le véhicule, les bornes de recharge disponibles dans un certain périmètre.

¹⁰⁶ Tesla emploie des « Mobile Rangers » venant en aide aux clients tombés en panne sèche d'électricité. Renault, pour sa part, dépanne gratuitement les utilisateurs d'AE de la marque et ce, quelle que soit la raison de la panne.

¹⁰⁷ Nissan équipe son AE, la Leaf, d'un GPS évolué. Le consortium ELVIRE (*Electric Vehicle communication Vehicle to Infrastructure, Road services and Energy supply*), réunit 11 partenaires (ATB, Better Place, CEA LIST, Continental Automotive GmbH, Endesa, Erasmushogeschool Brussel, ERPC GmbH, Lindholmen Science Park AB, Renault S.A.S., SAP AG, Volkswagen AG) et entend multiplier encore ce type de fonctionnalités.

Chapitre 3 : Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : modèles d'affaires et rôle sur la diffusion de l'électromobilité

Fondamentalement renouvelé par rapport au véhicule thermique usuel, tant du point de vue de sa conception technique que du modèle socio-économique dans lequel elle s'ancre, l'AE émerge sur la base d'un écosystème – effervescent et non stabilisé – composé d'acteurs traditionnels de l'industrie automobile, mais également d'une myriade d'acteurs inédits. Dans le contexte dépeint dans les **Chapitres 1** et **2**, l'AE se conçoit, en effet, comme une innovation majeure dont l'émergence imprime notamment l'apparition de firmes – issues des industries télécoms et énergétique – créées *ex nihilo*, les « opérateurs de mobilité électrique » et « agrégateurs de charges ». Ceux-là se placent à l'intersection de dynamiques complexes et multi-échelles (Bainée, 2012). En capitalisant sur la propriété systémique de l'AE, nous avons vu que ces acteurs apportent de concert une solution simultanément favorable à l'intégration des énergies alternatives intermittentes et de l'AE aux systèmes électrique et énergétique existants. En cela, l'apparition de ces acteurs est de nature à amorcer la diffusion de l'AE, qui n'a jusqu'à présent jamais dépassée le stade de l'émergence (Fréry, 2000). Au-delà, nous allons voir que le rôle des opérateurs de mobilité électrique ne se cantonne pas à l'émergence de l'AE et qu'il dérive également sur la problématique du rythme de diffusion de l'AE.

Pour mener à bien un tel exercice, nous emprunterons à deux courants théoriques distincts. Le premier emprunt puisera sa source dans l'économie industrielle et abordera la problématique des « marchés bifaces » (Rochet et Tirole, 2003), à « deux versants », ou encore « multifactes » et « à multiples versants », l'ensemble de ces appellations caractérisant le

même type de marché. Le second emprunt mobilisera la littérature évolutionniste relative aux rendements croissants d'adoption, dans le cadre original d'une perspective à la fois intersectorielle et territorialisée. Afin d'embrasser les dynamiques à l'œuvre au sein de l'industrie de l'électromobilité et d'en saisir les singularités, nous proposons de revenir sur le marché des opérateurs de mobilité électrique et des agrégateurs de charges, puis d'aborder la question de leurs modèles d'affaires respectifs à l'aide du concept de marché bifaces. Enfin, en nous appuyant sur les apports de l'économie des réseaux, nous interpréterons l'apparition des opérateurs de mobilité électrique comme visant à créer les conditions cadres de rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés à l'AE.

1. Opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : genèse et marchés.

Jusqu'ici, la problématique des opérateurs de mobilité électrique et des agrégateurs de charges est apparue à maintes reprises, par le biais d'éclairages ponctuels. Un rappel ordonné nous permet de puiser l'essence de leurs activités respectives et des conditions de leur émergence.

En premier lieu, nous avons vu que les limites intrinsèques de l'AE, en termes d'autonomie et de durée de charge, ouvrent la voie à l'apparition d'acteurs capables d'indiquer – par le recours aux Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), dont l'AE est l'origine ou la destination – le positionnement géographique, la disponibilité et les modalités de réservation des infrastructures de charge publique et/ou privée à leurs clients. Ces acteurs sont les opérateurs de mobilité électrique, avançant le principe de la vente d'une « fonction de mobilité », qui consiste à offrir une prestation forfaitaire de mobilité dont l'objet est de gérer l'autonomie des AE et de flexibiliser leur utilisation. Outre l'accès à une infrastructure de

recharge qui maille un territoire donné, dont l'opérateur gère le plus souvent le service associé, cette prestation peut comprendre une prestation intégrée de vente de l'AE et/ou de location de sa batterie, voire la prise en charge du coût d'achat de l'électricité (**Cf. Partie 1**).

En second lieu, nous avons vu que l'adoption en masse de l'AE impose une gestion raisonnée de sa charge afin de veiller à l'adéquation entre les capacités de production en électricité et le volume de la demande formulée pour l'électricité. Cette gestion raisonnée consiste à s'assurer que les AE sont rechargées, non pas de façon aléatoire, mais lorsque l'énergie disponible est effectivement abondante. C'est à ce niveau qu'interviennent les agrégateurs de charges, qui capitalisent sur la « capacité de stockage » de l'AE, selon des modalités singulières.

Dans le déroulé des chapitres précédents, nous avons déjà considéré les contraintes techniques soulevées par l'émergence de l'AE et la problématique de l'intégration mutuelle de l'AE et des énergies renouvelables (EnR) intermittentes, à travers le filtre du système énergétique et du réseau de production électrique. Nous avons alors remarqué que l'avènement de l'AE interroge la capacité de nos économies à organiser la substitution du véhicule thermique par son homologue à batteries. La problématique de l'accès à l'électricité, qui dépasse la question de l'infrastructure de recharge, s'avère ainsi centrale dans l'émergence de l'AE, au regard des contraintes qu'il représente pour le réseau électrique. En effet, l'intégration d'un nombre substantiel d'AE induit, *ceteris paribus*, une inflation corrélative de la consommation – de base et de pointe – d'électricité. Par ailleurs, nous remarquons que le bilan énergétique global de l'AE se montre étroitement corrélé au mode de production de l'électricité qui lui permet, *in fine*, de se mouvoir, si bien que sa combinaison aux EnR apparaît essentielle. Or, au point de jonction entre les questions relatives au bilan énergétique global de l'AE et celles ayant trait au dimensionnement du système électrique, nous notons que seules les sources d'énergies

fossiles les plus polluantes sont aujourd'hui suffisamment flexibles pour répondre instantanément à tout accroissement momentané de la consommation d'électricité.

L'intégration des EnR intermittentes au réseau électrique faisait, quant à elle, intervenir des éléments de contingence distincts. En effet, dans un système énergétique principalement doté de moyens de production classiques fossiles, les variations de la demande sont les principales sources de déséquilibre. Lorsque s'y ajoutent des sources versatiles tributaires de la baisse momentanée du vent ou des rayons solaires cachés par les nuages, les variations imprévues de l'offre des producteurs constituent un aléa additionnel qui doit être compensé (Menanteau et al., 2003). Rappelons que l'électricité est une énergie qui ne peut se stocker au sens propre du terme, mais seulement être convertie en une forme d'énergie stockable. Schématiquement, cette propriété occasionne le fait que le niveau de la production d'électricité doit, à tout moment, se superposer rigoureusement à celui de sa consommation. C'est dans cette mesure que l'intégration de sources « non-programmables » provoque des coûts techniques supplémentaires (Milborrow, 2001), qui ont trait aux capacités de production et aux réserves supplémentaires dans lesquelles il est nécessaire d'investir, à mesure que les EnR intermittentes imprègnent le *mix* énergétique territorial. L'objectif est de maintenir, en temps réel l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité et compenser, par-là, les risques d'indisponibilité en période de pointe et de fluctuation de la production d'électricité.

Devant les contraintes que représente l'AE pour le réseau électrique et la difficulté d'intégration des EnR intermittentes, la procédure privilégiée par l'opérateur de réseaux électriques repose sur une démarche rigide et contraignante, consistant à recharger les AE en période creuse de consommation, c'est-à-dire durant la nuit (EDF, 2010). Une solution plus commode s'envisage néanmoins au point de tangence entre les *smart grids* et la propriété

systémique de l'AE. Rappelons que les *smart grids* permettent d'intégrer sans heurts les EnR intermittentes, de les discriminer des sources fossiles d'électricité, et également de rendre le consommateur actif en passant d'un système centralisé à un véritable réseau type « internet » pour l'électricité. La propriété systémique de l'AE est liée à la capacité de stockage [d'électricité] de l'AE, dont le corollaire est significatif.

Tandis que jusqu'ici, le pic de production des énergies éolienne et photovoltaïque ne se superposait pas avec le pic de consommation d'électricité, sans modalité économiquement viable de stocker l'énergie ainsi produite, la gestion de la fourniture et de la consommation d'énergie par l'association des *smart grids* et du stockage d'électricité grâce aux batteries des AE change la donne. Au moyen de protocoles *Vehicle-to-Grid* et *Vehicle-to-Home*, dont le développement est initié dès 2006 aux Etats-Unis (Tomic et Kempton, 2007), il devient non seulement bien moins complexe de relever le défi de leur intégration respective que de traiter chaque enjeu séparément, mais au surplus, ces technologies se qualifient mutuellement.

Il apparaît alors implicitement que la gestion optimisée des périodes de charge et de décharge des AE par les agrégateurs de charges doit s'articuler intimement à la problématique des déplacements et, par-là, aux prestations fournies par les opérateurs de mobilité. En effet, les déplacements induisent le volume de charge nécessaire pour parcourir une distance donnée et conditionnent le laps de temps durant lequel l'AE est raccordée au réseau électrique. Afin de minimiser les périodes pendant lesquelles l'AE se défait de son rôle de maillon du système électrique et pour optimiser l'impact des recharges des AE sur le réseau électrique, ces systèmes sont conçus autour du principe d'agrégation des capacités de stockage des batteries, par le biais d'un pilotage gouverné par les profils de chargement et d'utilisation des flottes d'AE. C'est donc au carrefour de la connaissance *a priori* des utilisations habituelles ou pré-

établies des AE et des niveaux d'offre et de demande agrégées d'électricité que les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges peuvent recharger les AE à bon escient.

Les prestations les plus novatrices et les plus convaincantes sont ainsi celles qui mêlent les apports respectifs des opérateurs de mobilité électrique et des agrégateurs de charges, puisque ces derniers, sur la base d'algorithmes, contribuent à mettre en cohérence et à articuler les offres et demandes de déplacement, d'une part, et les offres et demandes d'électricité, d'autre part. Le management croisé de la « fonction de déplacement » et de la « fonction de stockage » contribue, de fait, à offrir un plan énergétique adapté aux mobilités des utilisateurs et, se faisant, arrange le décloisonnement entre les industries télécoms, électrique, énergétique et de la mobilité, de même que le bouclage entre les infrastructures télécoms, énergétiques, électriques et routières. Il est possible d'identifier les industriels qui mettent ces principes à profit (**Tableau 40** : Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : un inventaire), tandis que d'autres acteurs, notamment issus de la recherche universitaire, s'inscrivent également dans cette mouvance, à l'image du programme allemand *MeRegio Mobil*. Pour la suite de ce chapitre, nous mobiliserons les cas de *Freshmile* et de *Better Place*.

Tableau 40 : Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : un inventaire :

Dénomination	Création	Forme d'émergence	Origine	Surface financière 2012
Better Place	2007	Start-up	Californie	700 millions de Dollars
Coulomb Technologies				80 millions de Dollars
Aerovironment		Spin-off	Arizona	150 millions de Dollars
Ecotality				25 millions de Dollars
Freshmile	2010		Alsace	N.C.

Source : <http://www.crunchbase.com> et presse spécialisée

A la fois constructeur et opérateur d'un réseau de bornes de recharge et de stations d'échanges de batteries, à l'usage des particuliers et des flottes publiques et professionnelles, *Better Place* déploie aujourd'hui ses offres en Israël et au Danemark et intégrera prochainement le marché hawaïen. Sa stratégie est bâtie autour d'un centre de données collectant, en temps réel, des informations provenant de l'ensemble des utilisateurs du réseau. Il s'agit de connaître l'état de charge des AE composant la flotte, la disponibilité des bornes de recharge, les pics de production des sources d'EnR, les parcours individuels de circulation des automobilistes et la structure de circulation agrégée, la topographie du territoire, ainsi que les schémas et les habitudes de conduite des usagers, afin de gérer au plus fin la dépense énergétique des AE et en prolonger l'autonomie et la flexibilité d'utilisation. *Freshmile*, quant à lui, est un opérateur qui déploie une flotte d'AE et l'infrastructure de charge intelligente nécessaire à leur intégration dans le réseau électrique, notamment dans le cadre du projet « Alsace Auto 2.0 » qu'il pilote, secondé d'un consortium de partenaires industriels et universitaires. Depuis 2013 et jusqu'à 2014, *Freshmile* exploite une centaine d'AE et de points de charge gérés à distance afin de démontrer la validité technique et économique de cette approche intersectorielle.

En constituant, dans ce cadre, un maillon du système électrique, l'AE porte un changement de paradigme dans l'usage de « l'automobilité », marqué par un passage de la notion de « déplacement » à la notion de « mobilité ». A rebours de l'usage traditionnellement flexible, polyvalent et autonomisé de l'automobile, l'usage de l'AE est davantage régi et contraint, car collectivement organisé. En cela, l'AE devient connectée en permanence, de même que le support d'un bouquet de services innovants ou d'une « suite servicielle », c'est-à-dire un point d'entrée à tout une gamme de services de gestion des déplacements et des recharges.

Cet aperçu des problématiques soulevées par l'émergence de l'AE indique que son déploiement n'est pas neutre quant à la physionomie du système électrique, ou vis-à-vis de l'étendue des services innovants qu'il est nécessaire d'initier pour contourner les faiblesses inhérentes à l'électromobilité. Un enseignement essentiel repose sur le fait que la nature systémique de l'AE est susceptible de générer les conditions d'existence d'un écosystème solide. Alors qu'il avait jusqu'à présent toujours failli dans la création de telles conditions¹⁰⁸, l'AE entre probablement aujourd'hui dans un schéma schumpétérien de destruction créatrice (Schumpeter, 1942), puisque des secteurs d'activités autrefois cloisonnés se reconfigurent et convergent désormais. Il semble de fait que ce ne soit pas tant la percée des batteries d'accumulateurs avancées, que les promesses d'un développement massif des services associés à l'électromobilité, qui invite de nouveaux acteurs à investir l'industrie de l'AE et ainsi à en précipiter l'émergence. Chacun d'eux est, en effet, incité à accéder à une place enviable le long d'une chaîne de valeur qui se crée de manière *ad hoc*, notamment en procédant à des innovations technologiques et organisationnelles. C'est ainsi, par exemple, que la capacité de l'AE à absorber l'excédent d'énergie en période creuse de consommation d'électricité et de le dégager sur le réseau aux heures de pointe, permet d'engendrer un revenu tirant parti du différentiel temporel de valeur du prix de l'électricité. Cette assertion souligne le besoin de mieux appréhender les modèles d'affaires mis en œuvre par les acteurs les plus significatifs de l'écosystème en émergence, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges.

¹⁰⁸ Compte tenu de la fiabilité et des coûts de maintenance modiques de l'AE, conjugués à un réseau de distribution automobile vivant essentiellement des réparations et de l'entretien des voitures, la substitution des véhicules thermiques par l'AE a toujours entraîné de vives inquiétudes. Hamilton (1980) estimait qu'elle provoquerait la disparition ou la reconversion de 3 millions d'emplois aux États-Unis.

2. Le marché des opérateurs de mobilité électrique : un marché bifaces.

Bien que l'activité des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges n'est pas encore totalement stabilisée, nous avons vu que dans une approche générique, elle consiste à offrir un plan énergétique adapté aux habitudes ou aux besoins ponctuels de déplacement des usagers de l'électromobilité, en créant les conditions d'un management dynamique des productions et consommations électriques, ainsi que des périodes de charge et décharge des batteries. De la sorte, « les opérateurs de mobilité électrique s'immiscent au sein d'un marché qui offre des opportunités de création et de captation de valeur, à tous les industriels ayant les moyens et la stratégie de pénétrer une autre industrie que la leur, mais connexe grâce à l'existence d'un soubassement d'infrastructures supportant des réseaux de différentes natures » (Bainée et Le Goff, 2012). Afin d'appréhender les modèles d'affaires associés aux opérateurs de mobilité électrique, nous entreprenons d'ouvrir la boîte à outils que constituent les travaux en économie industrielle. A ce titre, la notion de « marché bifaces » ou de « marché à multiples versants » est particulièrement opportune en première approximation. Après avoir défini puis étalonné la pertinence de cet outil analytique récent dans la littérature économique, nous l'adaptions au cas de l'industrie de l'AE.

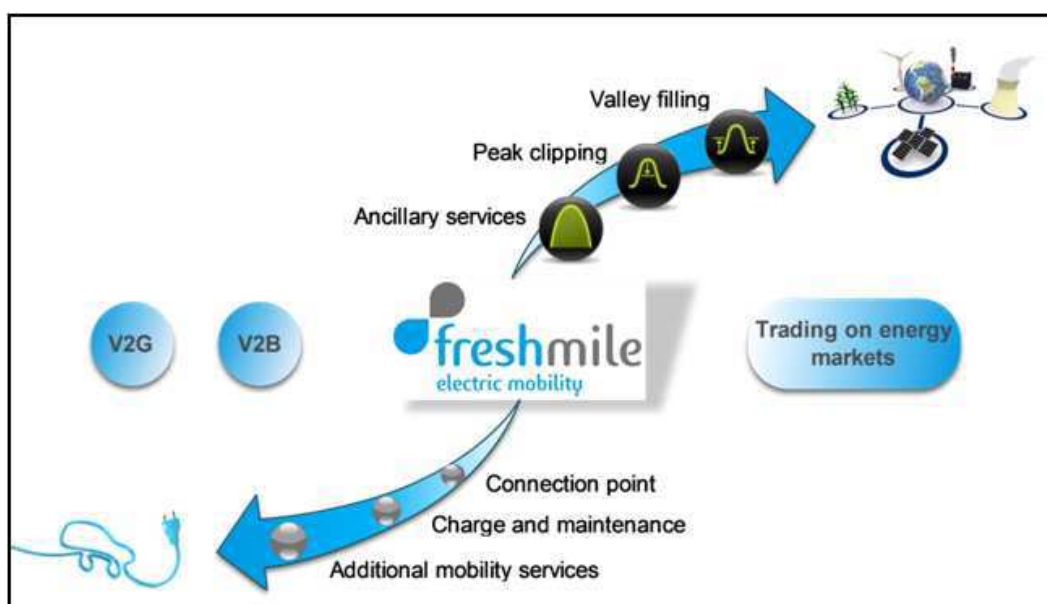
Pour les sciences économiques, un marché bifaces est un marché dont l'agencement entretient, voire requière, l'existence de deux clientèles différentes, mais néanmoins interdépendantes pour les produits qui y sont échangés. En d'autres termes, ces marchés mettent en relation deux groupes d'agents qui ont des gains mutuels à interagir (Rochet et Tirole, 2006). A titre d'exemple, l'utilité pour un consommateur de posséder une carte de crédit dépend du nombre de commerçants qui sont prêts à l'accepter comme moyen de paiement. A l'inverse, l'utilité pour un marchand de payer une redevance à la banque pour détenir la machine qui permet

d'accepter une carte dépend du nombre de consommateurs la possédant (Grabszewicz et Wauthy, 2004). Dans cette représentation, la banque constitue la « plateforme » d'un marché composé de deux versants complémentaires, les consommateurs sur l'un et les commerçants sur l'autre. Sans intervenir sur cette plateforme, l'opportunité d'opérer certains échanges marchands entre vendeurs et acheteurs – voire le marché lui-même – n'aurait pas existé, dans la mesure où la valeur d'usage du produit pour une catégorie d'agents est réciproquement et positivement corrélée au nombre d'agents présents sur l'autre versant du marché. Cette plateforme est, en fait, le média d'externalités de réseau croisées. « Externalités de réseau » au sens où la valeur du produit dépend du nombre d'utilisateurs et « croisées » parce que les utilisateurs en question appartiennent à des catégories différentes (Wauthy, 2008.a).

Si l'intérêt de la notion de marché bifaces s'est un temps heurtée à sa nature polysémique, son acception tend désormais à se stabiliser autour de trois caractéristiques essentielles (Weyl, 2010). D'une part, ces marchés se structurent autour d'une plateforme qui propose des services différents à deux versants d'un même marché. D'autre part, la plate-forme jouit d'un pouvoir de marché bilatéral, dans le sens où elle dispose de la capacité de proposer un mode de tarification – et donc un prix – spécifique à chacun des versants du marché. Finalement, ces marchés présentent des effets de réseau croisés puisque l'utilité qu'un agent – situé sur l'un des versants du marché – retire de sa participation à la prestation offerte par la plateforme dépend du nombre de participants sur l'autre versant du marché. Ce nombre dépend lui-même de la stratégie en prix ou en produits de la plateforme. Remarquons que l'absence de l'une de ces trois caractéristiques permet de se ramener à des situations où le marché relève d'un réseau simple ou d'un monopole vertical (Ibid.). Afin de mesurer la pertinence de l'analogie entre le diptyque AE-opérateur de mobilité électrique et le concept de marché bifaces, nous proposons d'interroger notre cas d'espèce au regard des trois critères identifiés.

En premier lieu, le marché de l'AE se structure-t-il autour d'une plateforme qui propose des services distincts à deux versants d'un même marché ? Dans le déroulé précédent, nous avons mis en exergue les deux fonctionnalités attachées à l'AE, dénommées « fonction de mobilité » et « fonction de stockage ». De plus, nous avons souligné que l'émergence contemporaine de l'AE entraîne l'apparition d'un nouveau type d'acteurs qui se placent à l'interface de plusieurs marchés sur l'autel d'un soubassement d'infrastructures commun supportant des réseaux de différentes natures, les opérateurs de mobilité électrique. Il est ainsi possible d'interpréter la fonction de mobilité et la fonction de stockage comme les deux versants d'un marché dont le rôle de plateforme est assuré par l'opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges (**Figure 34** : AE et marché bifaces : l'exemple de l'opérateur *Freshmile*). Il est en outre possible d'appréhender ce rôle de plateforme comme le cumul de propriétés fonctionnelles et structurales, puisque l'AE devient un véhicule « connecté » et communicant, qui fait système avec les réseaux électriques, télécoms, énergétiques, ou encore routiers.

Figure 34 : AE et marché bifaces : l'exemple de l'opérateur *Freshmile* :



Source : Freshmile (www.freshmile.com)

En second lieu, la plateforme jouit-elle d'un pouvoir de monopole bilatéral, qui se traduit par des modes de tarification – et donc des prix – propres à chacun des versants du marché ? Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges sont en mesure de proposer des modalités de tarification propres à chaque versant, dans la mesure où ils font face à des acteurs distincts sur chacun d'eux. D'une part, ces opérateurs dégagent un revenu de la prestation avancée qu'ils offrent aux usagers – particuliers, collectivités ou entreprises – de la mobilité. D'autre part, sur la fonction de stockage, les opérateurs se financent en revendant, auprès d'énergéticiens, l'électricité qu'ils ont provisoirement stockée grâce aux batteries des AE, lesquelles s'assimilent alors globalement à une centrale électrique virtuelle répartie. Rappelons, en effet, que par l'intermédiaire des protocoles *vehicle-to-grid* et *vehicle-to-home*, l'AE est susceptible d'absorber l'excédent d'énergie en période creuse de consommation d'électricité et de le dégager sur le réseau aux heures de pointe. L'enjeu est alors d'optimiser les recettes potentielles en maximisant le *spread* entre le prix de l'électricité à l'achat, le plus souvent établi sur un marché spot, et le prix de l'électricité à la revente, dont les modalités de revente et les perspectives de gains dépendent de la nature du marché, réglementé ou libre.

En troisième lieu, le marché de l'AE présente-t-il des effets de réseau croisés, de sorte que l'utilité perçue par un agent participant à la prestation offerte par la plateforme et situé sur l'un des versants du marché dépend du nombre de participants sur l'autre versant ? Les effets de réseau croisés entre les fonctions de mobilité et de stockage de l'AE n'apparaissent pas prégnants de prime abord. Il semble même exister un effet de ciseaux entre les revenus issus de chacune des fonctions, car dans une certaine mesure¹⁰⁹, l'énergie qui permet à l'AE de se mouvoir puise dans un capital énergétique commun avec la fonction de stockage mobilisée pour dégager l'énergie sur le réseau. Pour autant, un effet de synergie est bel et bien présent

¹⁰⁹ Depuis sa sortie d'usine et jusqu'à son retrait de la circulation, une automobile restera en moyenne parquée l'équivalent de 92 % du temps (Sperling, 1995).

entre les deux versants de ce marché, par le biais de canaux indirects. Pour les appréhender, il est ainsi nécessaire de se départir d'un raisonnement atomisé pour épouser un raisonnement agrégé et systémique. Alors même que dans les cas traditionnels de marchés bifaces, la plateforme assure le simple appariement d'offres et de demandes latentes dont la valorisation marchande est individualisable, pour l'AE, l'appariement des offres et demandes draine des externalités positives collectives, dans une acception large, économique, écologique, ou encore technique.

En vue de préciser cette assertion, rappelons d'une part, que la fonction de stockage de la batterie d'accumulateurs contribue à valider l'essor des EnR intermittentes qui, en retour, font écho au caractère non polluant de l'AE à l'usage. C'est précisément dans cette combinaison que s'ancre la perspective d'un « verdissement » de la mobilité. D'autre part, précisons le caractère polymorphe de la contribution de la fonction de stockage de l'AE à la stabilisation, à la sûreté et à la rentabilité des réseaux de transport et de distribution d'électricité. En premier lieu, elle permet de stabiliser le réseau électrique, c'est-à-dire de limiter les pointes et les basses tensions qui conduisent à une usure prématurée du matériel, à un « claquage » de l'isolant préjudiciable pour la qualité du service, voire à un risque de *black out* généralisé. Egalement, elle minimise le *curtailment*, c'est-à-dire la perte d'énergie, faute de capacité de stockage (Dietrich et al., 2011). Ajoutons enfin que l'AE constitue une aide non négligeable pour la continuité du service, en particulier dans les vallées encaissées et les régions escarpées ou structurellement fragilisées, à la condition que l'opérateur de mobilité mobilise une flotte d'AE mises en série afin de démultiplier la capacité de stockage agrégée potentielle. En corollaire, le cas du diptyque AE et opérateurs s'inscrit dans un contexte marqué par l'existence de deux clientèles distinctes et interdépendantes pour les prestations qui y sont échangées. Il constitue, par-là, un cas de marché bifaces. Singulières, les externalités croisées

entre les versants ne transitent ainsi ni de manière univoque, ni même de manière uniforme, mais indirectement par le biais d'effets externes positifs collectifs.

3. Application de la notion de marché bifaces aux modèles d'affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges.

La théorie des marchés bifaces se place comme une réelle source d'inspiration pour les modèles d'affaires potentiels ou réels des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Si tous sont incités à en appliquer les préceptes, nous observons également les cas de modèles d'affaires novateurs, capitalisant pleinement sur la propriété systémique de l'AE.

On retire de Sonnac (2006) que l'une des conséquences immédiates de la logique de marché bifaces est la singularité de la formation des prix. En effet, dans la mesure où les versants du marché sont intimement liés entre eux, le choix des prix pratiqués et des quantités produites sur chacun des versants ne s'opère pas isolément comme dans le cadre traditionnel. Il s'opère ici en fonction d'éléments liés à la demande - en termes de volume et de solvabilité – ou encore d'éléments liés à la structure des coûts de chacun des versants du marché, puisqu'un mécanisme de compensation croisée entre les versants peut intervenir. Capitaliser sur cette spécificité des marchés à multiples versants consiste à pratiquer une tarification déconnectée des coûts de production (Wauthy, 2008.b). Dans le cas des médias et de la publicité, de la presse gratuite en particulier, la déconnexion des coûts de production par rapport aux prix est telle, que l'un des versants, la vente d'encarts publicitaires, finance en totalité son vis-à-vis, la publication d'un journal quotidien. On parle alors de la « sponsorisation » de l'un des versants du marché, c'est-à-dire la pratique d'un tarif situé à un niveau inférieur au coût marginal de production du bien ou du service.

A partir de cet exemple, il est possible de souligner plusieurs phénomènes. En premier lieu, les marchés à multiples versants ont un effet « non neutre » et même sensible sur les prix pratiqués par le gestionnaire de la plateforme qui se situe à l'interface des deux versants. En second lieu, plus le financement d'un versant s'appuie sur un subventionnement croisé par l'entremise d'un autre versant du marché, et plus le maintien et l'acuité du caractère « biface » ou « multiface » du marché est essentiel au producteur. Cet arc constitue, en effet, un élément central pour la continuité de l'activité et ce, pour tous les versants du marché. Finalement, plus le financement d'un versant s'appuie sur un subventionnement croisé par l'entremise d'un autre versant du marché, et plus cette structure de marché impose la simultanéité de la détermination des tarifs sur chacun des versants du marché (Weyl, 2010).

Nous l'avons vu, l'un des corollaires de la structure spécifique des marchés bifaces est finalement que la plate-forme jouit d'un pouvoir de marché bilatéral, de sorte qu'elle peut décider du prix pratiqué sur chacun des versants du marché. Dans ce contexte, l'enjeu pour le gestionnaire de la plateforme est de tirer le meilleur parti des externalités croisées. Pour arriver à cette fin, une stratégie pertinente est de pratiquer un tarif très accessible à destination du groupe d'agents le plus sensible au prix, de façon à augmenter la demande de ces derniers pour le produit ou service (Wauthy, 2008.b). La hausse de l'audience engendrée est alors particulièrement désirable pour l'autre groupe d'agents qui, caractérisé par une sensibilité au prix plus limitée, se verra imposer des prix plus élevés. En d'autres termes, une pratique de tarification misant sur la spécificité des marchés à multiples versants consiste à charger au maximum le « versant » qui a la plus faible élasticité-prix, ce qui permet de subventionner l'utilisation de la plateforme pour l'autre versant dont l'élasticité-prix est plus élevée.

3.1. Filiation et adaptation des préconisations de la théorie des marchés à multiples versants aux modèles d'affaires des opérateurs.

Les modèles d'affaires des opérateurs de mobilité électrique s'inspirent ou peuvent s'inspirer de ceux qui sont développés dans le cadre des marchés bifaces ou multiface. En vue d'analyser plus finement ces modèles d'affaires, notre démarche est de caractériser chacun des versants de marché, en tenant compte des acteurs qui y sont présents, de la structure du marché et des modalités de la concurrence. Ces caractéristiques sont, en effet, essentielles pour envisager, dans un second temps, quels sont les arbitrages et les choix de tarification effectués par les opérateurs de mobilité.

Pour la « fonction de stockage » de l'AE, du côté de l'offre, le propriétaire de la batterie de l'AE est en relation avec l'opérateur de déplacement électrique qui joue son rôle de plateforme en organisant cet « échange ». Remarquons que la batterie peut appartenir à l'opérateur de déplacement ou à d'autres acteurs, tels que le propriétaire de l'AE ou un constructeur. Dans ces cas, l'opérateur de déplacement électrique versera une rétribution assimilable à une rente. Du côté de la demande, les énergéticiens rachètent l'électricité auprès de l'opérateur de mobilité électrique. Le prix de rachat des EnR peut être régulé par les pouvoirs publics, comme c'est le cas en France, ou en Allemagne. Ce marché constitue alors, en quelque sorte, un monopsonne puisque tous les énergéticiens font face à un prix identique fixé par le régulateur. La concurrence porte alors seulement sur le choix des quantités mises sur le marché par les opérateurs de mobilité électrique, puisque ces derniers maximisent leurs profits en acceptant de vendre l'énergie lorsque le différentiel entre le prix d'achat et le prix de revente de l'énergie est maximal. On parle d'un marché à la Cournot. Dans une autre configuration, le prix de rachat de l'électricité peut être librement fixé sur un marché où de

multiples acteurs du marché de l'électricité (Cf. **Partie 1**) opèrent. Il s'agit d'un marché concurrentiel.

Pour la « fonction de mobilité » de l'AE, c'est-à-dire à la gestion optimisée et collective des déplacements à même de mettre à disposition une AE en état de rouler à une heure précise et sur une distance conforme aux desideratas du client, les opérateurs de mobilité électrique offrent une prestation de service à des utilisateurs, particuliers, entreprises ou collectivités publiques, qui en tirent une valeur d'usage. Nous montrerons, plus avant, que les externalités de réseau et les rendements d'échelle croissants impliquent une tendance monopolistique ou, *a minima*, oligopolistique de la structure du marché. Gageons toutefois que le contexte de concurrence aiguë avec le véhicule thermique et l'existence de garde-fous telle que le *roaming*, permettant aux abonnés d'un opérateur de services de passer en toute transparence d'un réseau de communication sans fil à un autre, minimiseront le pouvoir de marché des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges.

3.2. Modèles d'affaires accessibles aux opérateurs de mobilité électrique.

Plusieurs modèles d'affaires accessibles aux opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges se basant sur les spécificités des marchés bifaces ou multiface peuvent être mis en évidence. Nous exposons ces modèles d'affaires qui, chacun, organise le subventionnement du versant le plus réactif de l'AE, la fonction de déplacement, par le versant disposant de l'élasticité-prix dont nous avons montré qu'elle était la plus faible, la fonction de stockage. En outre, nous admettrons que le coût d'achat de l'AE et de sa batterie constitue une autre composante sensible du modèle d'affaires, si bien que le mécanisme de subvention croisée

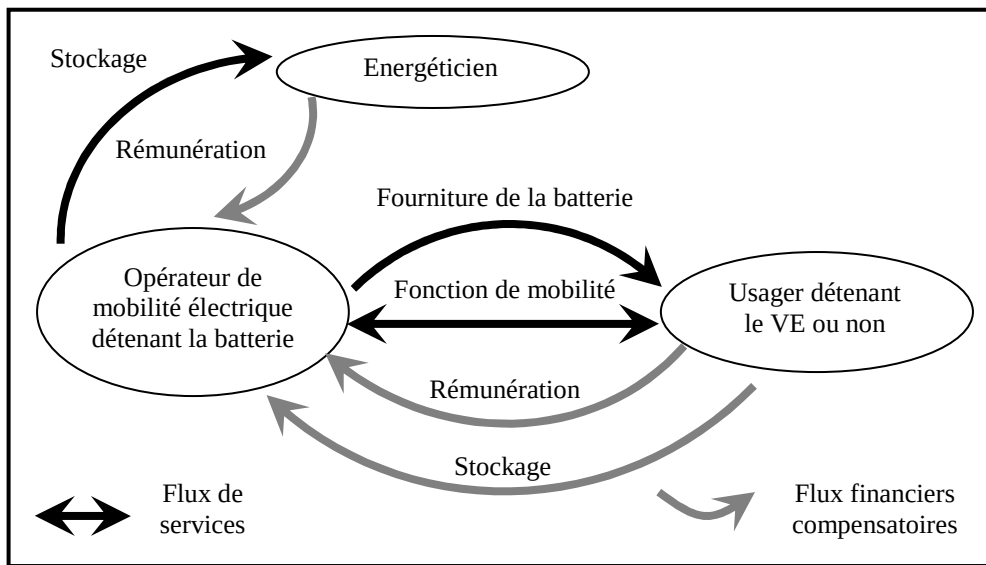
doit également se saisir de cette problématique. Notre volonté est ici de mettre en évidence les éléments qui sont deux à deux compatibles ou deux à deux incompatibles.

3.2.1. L'opérateur de mobilité propriétaire de la batterie d'accumulateurs.

Un premier modèle d'affaires développé par *Better Place* et *Freshmile*, considère le cas où l'opérateur de mobilité électrique et agrégateurs de charges est le propriétaire d'une batterie qu'il met à disposition et loue à un usager, lui-même propriétaire de l'AE ou non¹¹⁰. Le coût de la batterie constitue, en quelque sorte, une avance sur trésorerie pour l'opérateur qui finance, ou plutôt, subventionne ainsi l'achat des accumulateurs (**Figure 35** : L'opérateur de mobilité propriétaire de la batterie). Ce dernier consent un tel effort si, et seulement si, le retour sur investissement est suffisant et garanti, sinon probable. Ce point met en exergue deux éléments essentiels de ce modèle d'affaires. D'une part, en l'absence de politique publique volontariste prenant la forme de tarifs régulés de rachat de l'électricité – suffisamment élevés, et sans limite de volume échangé – et/ou en l'absence d'un cadre réglementaire stable dans le temps, il pèse un risque conséquent sur la viabilité de ce modèle d'affaires. D'autre part, la détention de la batterie d'accumulateurs par l'opérateur de mobilité peut aboutir à une situation propice à l'aléa moral et à l'asymétrie informationnelle entre l'opérateur et les usagers.

¹¹⁰ Le raisonnement est similaire pour l'exemple d'une Location Longue Durée (LLD) portant sur le couple AE-batterie d'accumulateurs ou bien pour celui d'une location de la batterie et de la vente de l'AE.

Figure 35 : L'opérateur de mobilité propriétaire de la batterie :



Source : Représentation de l'auteur

On parle d'asymétrie d'information, car l'opérateur de mobilité électrique ne connaît pas *ex-ante* la manière dont l'utilisateur utilisera son AE et sa batterie. Si un forfait kilométrique contraint souvent celui-ci à faire un usage limité de son AE, rien ne garantit que cet usage sera conforme aux intérêts de l'opérateur. Comment, en effet, garantir une durée quotidienne de branchement minimale suffisante de l'AE sur secteur ? Comment faire en sorte que les périodes de branchement se superposent aux heures creuses ou heures pleines de consommation d'électricité, alors même que la rentabilité de la fonction de stockage repose sur la capacité de l'opérateur à maximiser le différentiel entre prix d'achat de l'électricité par lui-même et son prix de rachat par l'énergéticien ? L'aléa moral intervient à deux titres. D'une part, en ne retirant pas de gains directs de ses efforts, l'utilisateur n'est pas incité à adopter un comportement susceptible de maximiser les recettes et le retour sur investissement de l'opérateur de mobilité électrique. Au surplus, en ne participant pas au financement de la batterie, l'utilisateur ne sera pas incité à adopter un comportement destiné à en assurer sa durabilité.

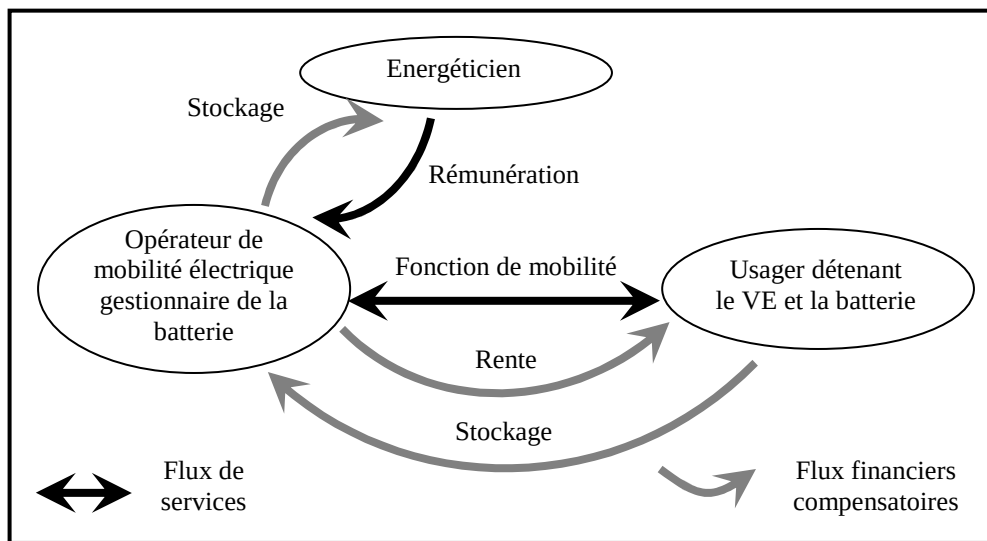
Il existe ainsi un point de faiblesse pour le modèle envisageant la propriété des batteries par l'opérateur et son financement appuyé sur le « trading » d'électricité, alors même qu'il devrait constituer un élément fondamental du modèle d'affaires. En ne capitalisant pas totalement sur la faible sensibilité au prix du versant « stockage » du marché, ce modèle d'affaires prend le risque de faire peser un poids trop conséquent du financement de la batterie sur le revenu tiré de la fonction de mobilité de l'AE, malgré la sensibilité de son élasticité-prix liée à la concurrence du véhicule thermique. Cette incompatibilité semble toutefois pouvoir être levée en adoptant le principe de pénalités pécuniaires basées sur une taxation « pigouvienne » qui internalise les externalités négatives, notamment grâce à l'*Internet* des objets qui permet une remontée d'informations depuis les AE. L'axiome de base serait d'inciter les comportements vertueux des usagers à l'égard de l'opérateur en pénalisant graduellement les comportements « dégradant » pour les batteries, sous réserve de l'acceptation sociale d'un tel principe.

3.2.2. L'opérateur de mobilité gestionnaire de la batterie d'accumulateurs.

Un deuxième modèle d'affaires, accessibles aux acteurs du marché de l'énergie, considère le cas où l'opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges est un simple gestionnaire de la batterie d'accumulateurs, laquelle est – cette fois – la propriété de l'utilisateur, au même titre que l'AE. Les ménages, entreprises ou collectivités qui en font l'achat, perçoivent ainsi un revenu assimilable à une rente de la part de l'opérateur de mobilité électrique (**Figure 36 : L'opérateur de mobilité gestionnaire de la batterie**). Ce modèle d'affaires réduit le rôle de l'opérateur à celui de prestataire de services et d'intermédiaire dans la revente de l'électricité stockée. Il a pour principal avantage de supprimer l'aléa moral auquel l'opérateur de mobilité fait face lorsqu'il est le propriétaire des accumulateurs. En bénéficiant d'un lien direct entre leurs efforts et les gains qui en découlent, les usagers sont incités à adopter des

comportements vertueux puisqu'ils engendrent un revenu et assurent la rentabilité de ce qui devient un investissement. Remarquons que ce modèle d'affaires a néanmoins l'inconvénient majeur de faire peser la totalité du coût de la batterie sur l'acheteur de l'AE, alors même que ce dernier est plus onéreux que son homologue thermique. Deux voies semblent envisageables pour contourner cette difficulté.

Figure 36 : L'opérateur de mobilité gestionnaire de la batterie :



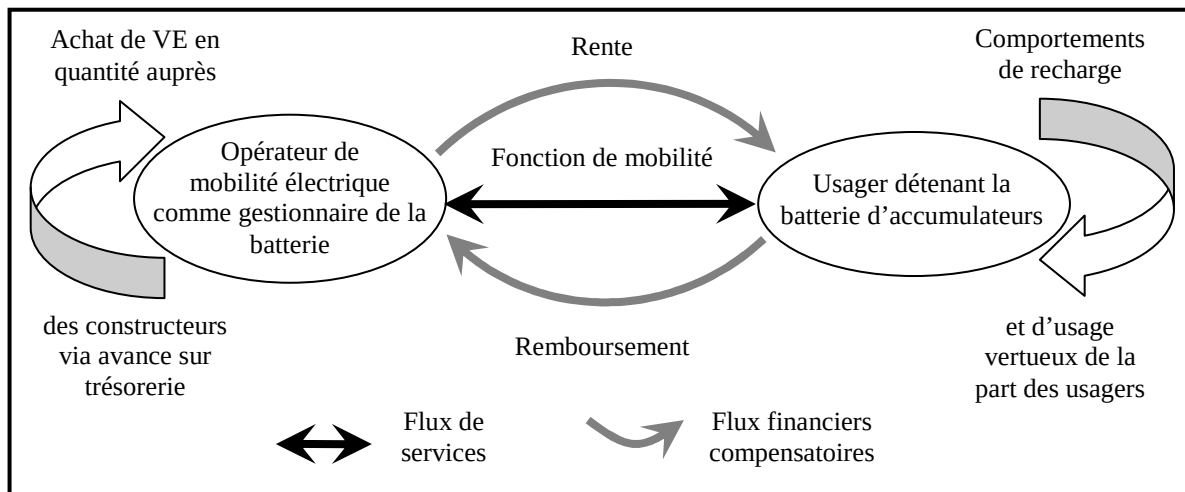
Source : Représentation de l'auteur

D'une part, sur l'autel du caractère de « bien collectif » dont jouit l'AE, les pouvoirs publics sont susceptibles d'intervenir en participant au financement de ses batteries, par le biais d'un mécanisme de « prêt à taux zéro », consacrant la fonction de centrale électrique virtuelle distribuée de l'AE dans cette configuration. Le mécanisme serait fondé sur le même principe que pour les investissements d'avenir en France, à l'image des pompes à chaleur et des champs d'éoliennes, puisque les acheteurs d'AE pourraient rembourser partiellement leur investissement à partir des revenus générés par l'activité de « trading » de l'opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges, du tarif de rachat régulé du kilowattheure d'électricité, voire en utilisant en propre l'énergie qu'ils auront stockés à bon escient.

D'autre part, et de manière contre-intuitive, afin de contenir le prix d'achat global du diptyque AE et batterie d'accumulateurs, il peut s'avérer pertinent pour l'opérateur de subventionner l'AE plutôt que la batterie, puisque l'aléa moral s'en trouve limité¹¹¹. La structure de ce modèle d'affaires reposerait alors essentiellement sur la compensation des flux entre la rente que l'opérateur verse à l'utilisateur propriétaire de la batterie et le flux financier lié au remboursement de l'AE par ce dernier à destination de l'opérateur, lui permettant de financer son avance de trésorerie initiale (**Figure 37** : L'opérateur de mobilité propriétaire de l'AE). Outre de lever le risque d'aléa moral, précisons qu'en vendant directement des AE, l'opérateur pourrait faire valoir un fort pouvoir de négociation à l'encontre des constructeurs automobiles, devenant alors de simples fournisseurs dans une chaîne de valeur totalement renversée. Ce modèle d'affaires bute néanmoins sur des « pesanteurs » de nature technico-économiques. D'une part, au vu du faible retour d'expérience dont bénéficient les technologies de batteries avancées de gros volume, notamment quant à leur espérance de vie, il semble difficile de faire peser la totalité de l'aléa technique sur les seuls usagers, sauf à prendre le risque d'écorner, pour longtemps, une image de marque, voire l'image de l'AE. D'autre part, en cantonnant les constructeurs automobiles au rôle de fournisseur de terminaux de déplacement, ce modèle d'affaires engendre les conditions d'un blocage dont il serait capital d'évaluer l'importance.

¹¹¹ Rappelons que l'AE se singularise par la robustesse de ses composants. Au surplus, quiconque a déjà loué ou revendu une automobile auprès d'un concessionnaire sait qu'il est d'usage de payer une pénalité si l'entretien s'est avéré inadéquat. Il s'inscrit, par-là, de manière plus évidente dans le système sociotechnique connu.

Figure 37 : L'opérateur de mobilité propriétaire de l'AE :



Source : Représentation de l'auteur

3.2.3. Vers un modèle d'affaires résolument multifaces.

Nous ouvrons finalement notre analyse sur un modèle d'affaires prospectif consistant à envisager d'autres facteurs qui constituent des externalités positives associées à la fonction de stockage de l'AE et qui, par-là, représentent autant de versants supplémentaires susceptibles de contribuer au financement du diptyque formé par l'AE et sa batterie d'accumulateurs. Nous proposons de les identifier et de les appliquer à notre cas d'espèce.

Comme nous l'avons d'ores et déjà évoqué, la fonction de stockage de l'AE est bénéfique aux infrastructures de distribution électriques, car elle permet de stabiliser le réseau. Ce soutien à la régulation de la fréquence est important, puisque des tensions inappropriées conduisent à une usure prématurée du matériel et à un mauvais fonctionnement de nombreuses installations, chez les consommateurs ou sur le réseau lui-même. En admettant qu'il soit possible de valoriser ces externalités positives associées au déploiement de l'AE, via le mécanisme des prix ou par le biais d'une décision des pouvoirs publics, les distributeurs

d'électricité seraient ainsi susceptibles de subventionner l'achat d'AE pour juguler les risques auxquels leurs réseaux font face, notamment dans les territoires les plus escarpés, comptant des vallées encaissées, ou dans les territoires aux réseaux électriques structurellement fragilisés.

Une autre piste de valorisation de la fonction de stockage de l'AE est liée aux économies de CO₂ que cette fonctionnalité permet d'engendrer. En effet, dans la mesure où l'AE est désormais capable de stocker transitoirement des sources énergétiques décarbonées, dont la production ne se superpose pas à la consommation d'électricité, le déploiement en masse de l'AE constitue un stimulus important pour l'essor des EnR intermittentes. Deux types de régulation permettent de valoriser financièrement ces économies de gaz à effet de serre. D'une part, une régulation publique via un mécanisme de subventionnement de l'achat d'AE, puisque une économie de CO₂ s'assimile à un bien public. En pariant sur les effets induits du déploiement de l'AE sur le développement des EnR intermittentes, il est envisageable de réallouer une partie des budgets publics destinés à l'essor de ces sources d'énergie vertes vers l'AE. D'autre part, une régulation marchande, en contribuant à jeter les bases d'un marché des quotas de CO₂ ouvert aux opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges. Dans ce cas, il s'agirait probablement de s'inspirer ou d'étendre le marché existant des droits à polluer¹¹².

Notre exposé des externalités positives associées à l'AE n'a pas vocation à être exhaustif, mais vise à mesurer la capacité des parties prenantes de l'AE à ouvrir leurs modèles d'affaires à d'autres acteurs susceptibles de contribuer indirectement à son financement et donc, à son

¹¹² Notons que le constructeur californien d'AE *Tesla Motors* a enregistré son premier résultat bénéficiaire au mois de Mai 2013, en particulier grâce à la vente de crédits carbone qu'il a accumulé à ses concurrents, producteurs de véhicules thermiques. En 2013, le montant cumulé de la vente de ces crédits carbone par *Tesla Motors* s'est élevé à 68 millions de dollars. Ces « zero emission credits » ont cours dans plusieurs Etats américains, incluant la Californie, qui en est l'instigatrice.

émergence. Précisons également que les modèles d'affaires évoqués peuvent chacun intégrer ces versants novateurs, mais qu'ils conservent néanmoins leurs limites respectives.

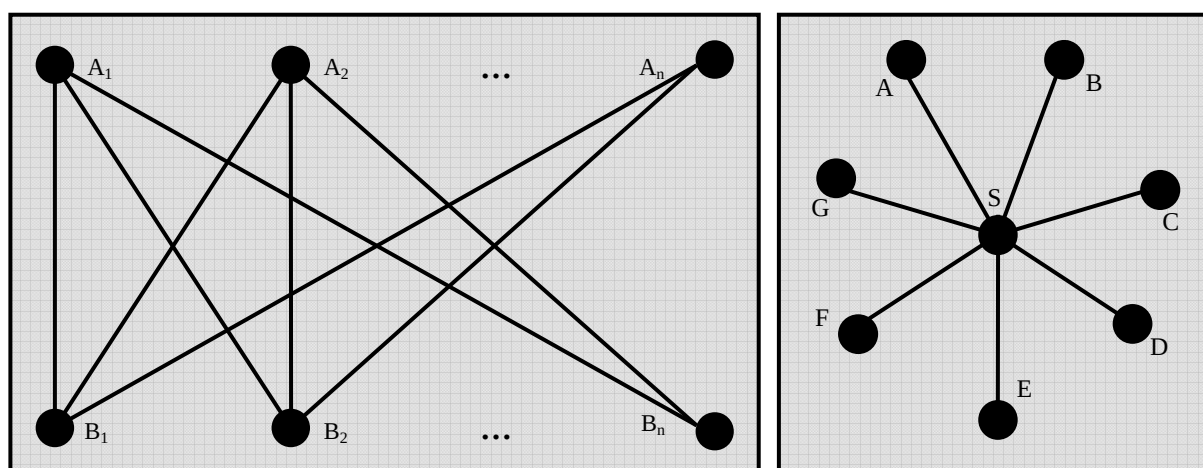
Après l'avoir défini, nous avons étalonné la pertinence du concept de marché bifaces au regard du cas contemporain de l'industrie de l'AE. Il est apparu, à l'instar de ce type spécifique de marché, que les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges constituent l'équivalent d'une plateforme articulant deux versants d'un même marché qui sont caractérisés par des gains potentiels à interagir. En tant que tels, les opérateurs sont les médiateurs d'externalités de réseau croisées et jouissent d'un pouvoir de marché bilatéral leur permettant de proposer un mode de tarification propre à chaque versant du marché, dont nous avons eu le loisir de montrer l'ampleur des éventualités. Une fois le couple formé par l'AE et les opérateurs de mobilité appréhendé, nous proposons désormais d'en compléter la portée théorique et empirique en lien avec la question de l'émergence de l'AE. Au-delà des phénomènes précédents, jouant essentiellement un rôle d'impulsion pour l'AE, abordons maintenant la problématique des rendements croissants d'adoption et leur capacité à porter la diffusion de l'AE. Nous interprétons, en effet, la survenue des opérateurs de mobilité et agrégateurs de charges comme créant les conditions cadres de rendements croissants d'adoption, c'est-à-dire une situation dans laquelle l'utilité associée à l'adoption d'un standard technologique croît avec son degré de diffusion (Katz et Shapiro, 1985). Ce faisant, nous alimentons la théorie des rendements croissants d'adoption, en l'associant à des problématiques intersectorielle et territorialisée. A cette fin, nous ferons un retour sur les éléments théoriques de l'économie des réseaux, puis modéliserons les dynamiques observées.

4. Opérateurs de mobilité électrique et diffusion de l'automobile électrique : les enseignements de l'économie des réseaux.

4.1. Retour sur les notions de réseau et d'externalité de réseau.

On appelle traditionnellement « réseau » un ensemble d'éléments ou d'unités – entendus au sens large – unis par des liens univoques ou multivoques de nature variée, dont une partie au moins nécessite d'être mobilisée pour la réalisation d'une production ou d'un service donné. Les éléments qui constituent le réseau, comportant deux points *A* et *B* ou plus, sont donc *complémentaires* entre eux (Economidès, 1996). Deux types de réseau sont distingués dans la littérature. Lorsque l'une des deux liaisons *AB* et *BA* n'existe pas, ou que la première est identique à la seconde, le réseau est appelé « réseau à simple voie ». Dans ce type de réseau, la communication de point à point s'effectue en sens unique, à l'instar des réseaux électriques, préalablement à l'avènement du *smart grid*. Lorsque la liaison *AB* est distincte de la liaison *BA*, le réseau est appelé « réseau à double voie » (**Figure 38** : Représentations d'un réseau à simple voie et d'un réseau à double voie). Dans ce cas, la communication entre le point *A* et le point *B* peut s'effectuer dans les deux sens, à l'image des réseaux de transport (aérien, autoroutier, etc.) ou encore du réseau téléphonique, caractérisés par une allure en étoile où les liaisons de point à point passent par un élément central *S*, appelé *hub* et chargé de rediriger les appels, ou les voyageurs, vers le pôle de destination.

Figure 38 : Représentations d'un réseau à simple voie et d'un réseau à double voie :



Source : Economidès (1996), p.675-676

En adoptant une démarche qui consiste à distinguer deux alternatives, celle d'une AE dont l'usage s'appuierait sur le binôme opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges et celle d'une AE qui en serait dépourvue, il est possible de cerner, d'un point de vue théorique et pratique, la plus-value délivrée par ces acteurs. Lorsqu'une AE est dépourvue d'opérateur, l'usage de l'AE est parfaitement autonomisé, non coordonné et finalement sujet aux limites inhérentes à l'électromobilité. Concrètement, un quelconque usager n'est pas en mesure de connaître la disponibilité des bornes de recharge l'environnant, et rien ne l'assure de pouvoir recharger son AE à partir d'une source énergétique « décarbonée ». Dans le cas d'une AE couplée à un opérateur, condition *sine qua non* d'une gestion optimale de l'autonomie, du temps de charge, voire de l'équilibre de l'équation économique de l'AE, les déplacements et les recharges de l'utilisateur sont collectivement organisés et priorisés par le truchement d'une adéquation entre l'offre et la demande de mobilité et la disponibilité de la source énergétique décarbonée. Une multitude d'outils ou de moyens sont mobilisables pour parvenir à offrir ces prestations. Rappelons, par exemple, que l'opérateur *Better Place* déploie une stratégie bâtie sur un centre de données collectant, en temps réel, des informations provenant de l'ensemble des utilisateurs du réseau et abordant les thèmes de la disponibilité des bornes de recharge, de

l'état de charge des AE, des pics de production d'énergies renouvelables, des parcours individuels de circulation des automobiles, y compris la topographie du territoire et la structure de la circulation, ainsi que les schémas et les habitudes de conduite (**Figure 39** : Modèle de structure réticulaire déployée par l'opérateur *Better Place*).

Figure 39 : Modèle de structure réticulaire déployée par l'opérateur *Better Place* :



Suivant la littérature économique, il y a externalité lorsque la production ou la consommation d'un agent économique n'agit pas uniquement sur son propre bien-être, mais également sur le sort d'un ou plusieurs autres agents, sans que cela transite par le mécanisme des prix. Dans le cas des externalités positives de réseau, ce phénomène implique que les valeurs d'usage et marchande d'un bien augmentent en fonction du nombre d'unités de ce bien qui composent le réseau. On distingue deux types d'externalités de réseau (Katz et Shapiro, 1985). D'une part, les externalités directes de réseau interviennent lorsque l'accroissement du nombre d'utilisateurs d'un produit ou d'une technologie a un effet direct sur l'utilité que retirent les autres agents consommant ce produit. Elles se manifestent, notamment, dans le cas du réseau téléphonique, où plus le nombre d'abonnés est élevé, et plus l'utilité du service offert à chaque utilisateur est importante. D'autre part, les externalités indirectes de réseau se produisent lorsque l'accroissement du nombre d'utilisateurs d'un produit ou d'une technologie engendre une amélioration des caractéristiques de l'offre de ce produit (resp. de cette technologie), ou bien

encore lorsque cet accroissement engendre une amélioration de l'offre de biens et services complémentaires, à travers le phénomène dit d'« effets de club ». L'exemple-type de ces externalités est l'accroissement en qualité et en variété des progiciels spécifiquement étudiés pour une machine bénéficiant d'une large base installée.

Le croisement des typologies, en termes de réseaux à simple ou à double voie et en termes d'externalités directes ou indirectes de réseaux, est riche d'enseignements. Ainsi, dans le cas d'un réseau à simple voie, qui renvoie à une AE dépourvue des services d'un opérateur de mobilité électrique et opérateur de charges, les externalités de réseau existent, mais ne sont qu'indirectes. Un consommateur supplémentaire ne viendra pas accroître directement la valeur du réseau, mais seulement de manière détournée, suivant de multiples modalités. Par exemple, il pourra contribuer à l'extension et à la densification du réseau d'infrastructure de recharge maillant un territoire, à la diversité technique et d'apparence des AE offertes et, par le jeu des économies d'échelle, à précipiter la réduction de leurs coûts de production.

A ces externalités indirectes de réseau s'ajoutent des effets directs, associés aux propriétés du réseau à double voie, lorsqu'une AE est associée à un opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges. La raison essentielle réside dans la complémentarité caractérisant les éléments qui composent le réseau, si bien que chaque utilisateur supplémentaire engendre des externalités [directes] de réseau, qui accroissent aussi bien l'utilité du service rendu par le réseau, que la satisfaction de chaque utilisateur, depuis le primo adoptant et jusqu'aux futurs adoptants. L'apparition et la nature de l'activité des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges engendrent ainsi l'existence de rendements croissants d'adoption (Arthur, 1989) spécifiquement articulés à la dimension systémique de l'AE. Ces rendements croissants d'adoption portent tant sur la fonction de mobilité, que sur la fonction de stockage.

Sur le front de la fonction de mobilité, l'accroissement du nombre des déplacements automobiles – et, par-là, du nombre d'usagers de la route – induisait, jusqu'alors, des externalités majoritairement négatives liées à la congestion urbaine et à la saturation du réseau routier. Désormais, la croissance du nombre des usagers bénéficiant d'une gestion collective de leur [électro]mobilité occasionne des externalités directes de réseau, qui transitent par la maximisation de la qualité des informations transmises à chaque AE, composant un parc donné, grâce à un système intelligent qui agrège ces informations, les « contextualise », les croise et les optimise. C'est dans cette mesure que les opérateurs de mobilité électriques et opérateurs de charges sont capables de définir un plan énergétique individualisé et adapté aux besoins ponctuels et habituels de déplacement des usagers de l'électromobilité.

Sur le versant relatif à la fonction de stockage, l'agrégation d'AE, au sein de flottes, est nécessaire pour engendrer un chiffre d'affaires conséquent, à trois titres. Premièrement, l'agrégation de nombreuses AE est nécessaire pour stocker une quantité d'électricité en phase avec les ordres de grandeur attendus par les énergéticiens (**Cf. Partie 1**). Deuxièmement, l'agrégation de nombreuses AE est nécessaire pour stocker une quantité d'électricité suffisante, considérant la taille minimale requise par le régulateur national ou local pour intégrer le marché de la régulation de fréquence des réseaux électriques. Troisièmement, et compte tenu de leurs propriétés spécifiques respectives, chaque nouvelle AE facilite l'intégration technique d'une ou plusieurs unités d'EnR intermittente qui, elles-mêmes, contribuent à élargir les gains liés au marché du stockage d'électricité. Il convient néanmoins de préciser que sur la base d'un *mix* énergétique donné, cette relation positive atteint un point d'inflexion, à partir duquel, plus le nombre d'AE stockant de l'électricité augmente, et moins les gains potentiels sont importants. Corrélativement, cette relation induit qu'il y existe un

nombre optimal d'AE, évoluant à mesure que les sources d'EnR intermittentes infusent le *mix* énergétique global, à l'échelle d'un territoire, d'un pays, voire d'un continent.

4.2. Modélisation.

La confrontation des propriétés systémiques de l'AE avec l'économie des réseaux a montré que l'apparition des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges façonne des rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés à l'AE. La modélisation de ces effets externes de consommation, sur le modèle de Katz et Shapiro (1985), doit désormais nous permettre d'éclairer la portée de ce phénomène sur les dynamiques d'émergence et de diffusion de l'AE. Un tel modèle à vocation à analyser les marchés sur lesquels des externalités de consommation sont présentes (Becker et al., 2009) et à en mesurer les effets sur la concurrence et sur la forme de l'équilibre concurrentiel. L'hypothèse retenue est que les consommateurs forment des attentes liées à la taille des réseaux concurrents puisque leur surplus dérive du nombre des autres agents rejoignant le réseau associé à ce même bien. Lorsque le bien est durable, à l'image de l'automobile, c'est la taille future du réseau qui importe pour ce modèle statique. Ajoutons que dans ce modèle, on pose l'hypothèse que les consommateurs forment des estimations homogènes sur la taille future du réseau.

Admettons deux générations de consommateurs qui désirent acheter une AE. Ces derniers décident rationnellement du modèle qu'ils achètent au regard de la technologie embarquée qui maximise la valeur économique de détention. Le choix, qui s'opère ici entre une AE couplée à un opérateur, favorisant les rendements croissants d'adoption (noté RCA) et une AE qui en est dépourvue (noté ~~RCA~~), se base sur trois facteurs. En premier lieu, il s'appuie sur le nombre des autres acheteurs qui ont choisi chacune des technologies durant la première période (E_t) et

le nombre estimé d'acheteurs pour chaque alternative durant la deuxième période ($\check{E}[E_{t+1}]$), en deuxième lieu, il s'appuie sur le prix – ou coût d'achat – de l'AE durant la période courante (p_t) et, finalement, il prend en considération le coût d'usage au cours de la période courante (e_t) et au cours de la seconde période ($\check{E}[e_{t+1}]$). La formulation du type $\check{E}[\cdot]$ rend compte de l'incertitude attachée à la taille future du réseau et vis-à-vis du coût d'usage, également incertain, de l'AE lors de la deuxième période.

De manière générique, le bénéfice net pour un consommateur achetant une AE est donné par :

$$B_{AE} = v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) - p_t - e_t - \delta \check{E}[e_{t+1}] \quad (1)$$

où $v(\cdot)$ est une fonction croissante du nombre d'adoptants qui saisit les externalités positives de réseau liées aux choix des consommateurs. Il s'agit indifféremment d'externalités indirectes ou directes de réseau. $\delta(\cdot)$ est un terme d'actualisation du futur coût de l'électricité.

Trois cas de figure sont possibles. Soit le bénéfice net est **(2)** négatif ($B_{AE} < 0$), soit il est **(3)** nul ($B_{AE} = 0$), soit il est **(4)** positif ($B_{AE} > 0$).

$$v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) < p_t + e_t + \delta \check{E}[e_{t+1}] \quad (2)$$

$$v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) = p_t + e_t + \delta \check{E}[e_{t+1}] \quad (3)$$

Si le bénéfice net est négatif ou nul, l'émergence de l'AE est peu probable. Il se montre trop onéreux à l'achat et/ou à l'usage au regard des anticipations que formulent les consommateurs sur le nombre d'agents qui adopteront l'AE et/ou sur la portée des externalités de réseaux qui lui sont associées. Outre les subventions à l'achat et à l'usage, visant à intégrer les externalités positives collectives appuyées sur le déploiement de l'AE, un travail de sensibilisation des consommateurs, de même qu'un signal positif sur la taille future du marché par le biais des commandes publiques, pourraient s'avérer pertinents.

$$v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) > p_t + e_t + \delta \check{E}[e_{t+1}] \quad (4)$$

Si le bénéfice net est positif, l'émergence de l'AE est probable. Sa part de marché est d'autant plus grande que les effets externes de réseaux sont importants. Rappelons que les externalités positives de réseau sont décuplées avec l'apparition des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges qui, dans une perspective trans-sectorielle, combinent des externalités indirectes et directes de réseau et occasionnent l'existence de rendements croissants d'adoption (RCA), si bien que :

$$v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) > v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) \quad (5)$$

L'effet total de l'apparition des opérateurs de mobilité électrique sur le bénéfice net pour le consommateur ne saurait se limiter à ces seules externalités. En effet, nous avons vu qu'en ayant les moyens d'absorber l'excédent d'énergie en période creuse de consommation d'électricité et de le dégager sur le réseau aux heures de pointe, les opérateurs peuvent non seulement contenir les coûts de recharge de l'AE, mais au surplus, en dégager un revenu tirant parti du *spread* entre le prix du kilowattheure d'électricité à l'achat et son prix à la revente (6). En outre, ce revenu bénéficie systématiquement au propriétaire de l'AE, en prolongeant les enseignements du concept de marché bifaces dans une perspective trans-sectorielle.

$$e_{t(RCA)} + \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}] < e_{t(RCA)} + \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}] \quad (6)$$

Par souci de rigueur, mentionnons que la prestation des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges est coûteuse, mais qu'il est raisonnable de penser que ce coût est inférieur aux bénéfices attendus, car « si la première spécificité de l'économie des réseaux réside dans l'existence d'externalités, la seconde tient certainement à la structure particulière des coûts » (Lequeux, 2002, p.179). Sur la base d'une distinction entre les coûts des services (« couche haute » du réseau) et les coûts de l'infrastructure sur lesquels reposent ces services

(« couche basse » du réseau), la littérature mentionne que si les coûts fixes d'infrastructure sont souvent colossaux, les coûts variables liés à l'exploitation d'un réseau sont relativement faibles, sinon quasi nuls. En tout état de cause, la faiblesse des coûts marginaux implique un coût moyen de production décroissant avec le nombre d'utilisateurs.

Nous retirons ainsi de (1), (5) et (6) que le bénéfice net pour le consommateur qui achète une AE associée à un management collectif de son usage ($B_{VE(RCA)}$) est supérieur à une AE qui en est privée ($B_{AE(RCA)}$).

$$v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) - e_{t(RCA)} - \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}] > v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) - e_{t(RCA)} - \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}] \quad (7)$$

Les externalités de réseau du côté de la demande et les rendements d'échelle croissants du côté de l'offre constituent les éléments fondamentaux d'une dynamique de diffusion singulière des biens et des services offerts en réseau, dont le corollaire est que la diffusion de l'AE bénéficiera de son association à un opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges. Cette formule pourra même constituer, à terme, un standard de la diffusion de l'AE.

Conclusion du Chapitre 3.

Dans ce **Chapitre 3**, nous nous sommes assigné pour but d'analyser les logiques et conditions d'apparition des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges, ainsi que de comprendre en quoi ceux-là sont susceptibles d'affecter l'émergence et la diffusion de l'AE.

Dans un premier temps, nous nous sommes penchés sur la genèse du marché des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Nous avons alors rappelé la nature et la portée des difficultés liées à l'intégration de l'AE et des énergies renouvelables intermittentes

au système électrique et, plus généralement, au système énergétique. Loin de se confondre et de se superposer, ces problématiques d'intégration se nourrissent mutuellement à la faveur de l'apparition des *smart grids* et de la propriété systémique de l'AE qui, outre sa fonction de mobilité, est le support d'une fonction de stockage de l'électricité. En constituant un moyen de stockage transitoire, l'AE contribue, en effet, à solutionner en grande partie les contraintes liées à l'intermittence de la production des sources d'énergie alternatives, qu'elles soient éolienne ou photovoltaïque, tout en réduisant également l'impact de ses recharges successives pour le réseau électrique. De fait, à l'interface entre l'AE et les infrastructures électriques, télécoms, routières et énergétiques, nous avons vu qu'il existe un espace, un marché, dont de nouveaux acteurs s'emparent en capitalisant sur le décroisement de secteurs économiques jusqu'ici hermétiques et dont ils assurent désormais le bouclage, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges.

Dans un deuxième temps, nous avons tenté d'appréhender les conditions d'existence de ces acteurs, dont l'objet est d'offrir un plan énergétique adapté aux habitudes et aux besoins ponctuels de déplacement des usagers de l'électromobilité, en créant les conditions d'un management dynamique des productions et consommations d'électricité, des périodes de charge et de décharge des batteries, ainsi que des déplacements d'une flotte d'AE en temps réel. A cette fin, nous nous sommes appuyés sur le concept de marché bifaces, c'est-à-dire un marché dont l'agencement entretient, voire nécessite, l'existence de deux clientèles distinctes mais interdépendantes l'une de l'autre pour les produits qui y sont échangés. L'analogie au marché bifaces nous a ensuite permis de montrer que les opérateurs s'assimilent à une « plateforme » reliant deux versants d'un même marché, la fonction de mobilité et la fonction de stockage et qu'en tant que telle, ils sont les médias d'externalités de réseau croisées et jouissent d'un pouvoir de marché bilatéral. Ces propriétés permettent aux opérateurs de

procéder à un subventionnement croisé suivant de multiples combinaisons entre les versants, consolidant par-là l'équation économique de l'AE. Associé aux externalités positives appuyées sur sa fonction de stockage, ce phénomène forme les conditions cadres de l'émergence de l'AE.

Dans un troisième temps, nous avons complété notre analyse des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges par une analyse fondée sur l'économie des réseaux. En nous appuyant sur les notions de réseau et d'externalités de réseau, nous avons montré de quelle manière l'apparition de ces acteurs induit l'existence de rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés à l'AE, c'est-à-dire une situation dans laquelle l'utilité associée à l'adoption d'un standard croît avec son degré de diffusion (Katz et Shapiro, 1985). Nous avons ensuite modélisé ces effets de réseau et appréhendé leur implication sur la diffusion de l'AE. Cette modélisation s'est révélée précieuse par sa portée pratique et pour ses recommandations. Partant du principe que la taille du marché de l'AE est d'autant plus grande que les externalités directes et indirectes de réseaux sont elles-mêmes prégnantes, elle a mis en exergue les considérations centrales des agents dans leurs choix de consommation. Outre les subventions à l'achat et/ou à l'usage, il apparaît ainsi opportun de sensibiliser les consommateurs aux effets externes associés à l'AE, ou encore d'envoyer un signal positif sur la taille future du marché par le biais des commandes publiques. Au total, en engendrant des externalités de réseau du côté de la demande et en capitalisant sur des rendements d'échelle croissants du côté de l'offre, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges ne jouent probablement pas uniquement un rôle crucial dans l'impulsion du marché de l'AE, mais constituent également les acteurs d'une dynamique de diffusion singulière de l'AE.

Afin de comprendre les raisons de l'apparition des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges au sein de l'industrie automobile, ainsi que d'en mesurer les effets sur l'émergence et la diffusion de l'AE, nous avons relié le phénomène des rendements croissants d'adoption à des problématiques intersectorielle et territorialisée. En effet, en contribuant à mettre en cohérence, dans le même cadre territorial, les offres et demandes de mobilité d'une part, et les offres et demandes d'électricité d'autre part, ces opérateurs s'inscrivent pleinement dans une perspective territorialisée. Ainsi, s'il est vrai que l'AE – qui avait jusqu'à présent toujours failli à créer un écosystème propice à sa diffusion – entre peut-être désormais dans un schéma schumpétérien de destruction créatrice, il semble néanmoins que son émergence soit intimement liée à la capacité et la dextérité des opérateurs à superposer effectivement des mobilités (déplacements) et des systèmes électriques, souvent très spécifiques et contingents. Cette aptitude varie, par exemple, selon le caractère régulé ou, au contraire, libre du marché de l'électricité, en fonction du niveau de pénétration des énergies renouvelables intermittentes et de leur répartition spatiale, ou encore, suivant la physionomie du parc immobilier, conditionnant l'accessibilité des bornes de recharge à domicile et sur le lieu de travail.

Au regard de ces conditions initiales déterminantes pour l'émergence et la diffusion de l'AE, dans le sens où elles gouvernent l'ensemble des externalités positives que les opérateurs de mobilité électrique calquent sur l'AE, ce travail trouve deux prolongements naturels. Il s'agira d'une part, de dresser une liste exhaustive des conditions initiales favorables ou non à l'articulation de l'AE appréhendée comme un « bien système » à son territoire de destination, en termes de structures sociale, institutionnelle, ou encore politique. Il s'agira d'autre part, de tester l'hypothèse d'un processus d'émergence territorialisée de l'AE, non pas à l'échelle continentale ou nationale, mais probablement régionale.

Conclusion de la Partie 2.

Cette deuxième partie a d'abord dressé un inventaire ordonné des multiples acceptions du concept de « bien-système » apparaissant çà et là dans la littérature économique. Afin de les articuler, notre analyse s'est axée sur la notion d'« effet utile » ou de « fonctionnalité », dans la veine des travaux de Henderson et Clark (1990). La largeur des effets utiles, cantonnée au produit lui-même, étendue par l'adjonction de biens et services complémentaires concourant à satisfaire une même catégorie de besoins ou encore, augmentée par le croisement de biens, services et réseaux physiques assurant concomitamment plusieurs fonctions dissociées, est la clé de lecture adoptée pour isoler trois orientations dans lesquelles s'inscrivent diverses configurations d'un même bien-système. Il s'agit des orientations « produit », « bouquet » et « intersectorielle », qui auront contribué à cerner les traits saillants des bien-systèmes en soulevant des questionnements et en apportant des éclairages spécifiques. L'inventaire des concepts et notions se rapportant au bien-système aura, lui, introduit une série d'indications de nature générale sur les bien-systèmes et sur l'industrie de l'électromobilité, de même que des éléments d'explication spécifiques sur les trois orientations repérées.

Dans ce cadre, l'orientation « produit » a placé l'emphase sur les effets de la complexité du bien-système pour en souligner les conditions spécifiques de production. Nous avons souligné la spécificité des principes de production de biens dont la nature systémique oriente les arrangements organisationnels, notamment dans l'industrie de l'électromobilité, sur l'exemple des « plateformes d'innovation » assurant la coordination d'acteurs tels que les constructeurs automobiles, les gestionnaires d'infrastructures et les laboratoires de recherche publics et privés (Enrietti et Patrucco, 2011.b). L'orientation « bouquet » a permis d'éclairer les principes régissant la structuration d'une offre de bien-système et les modalités d'agencement

de ses composantes. En introduisant les notions d'intermodalité et de multimodalité, ainsi que le concept de *Product-Service System* (Stahel et Giarini, 1986), nous avons souligné la primauté des effets utiles sur la détention des produits, à l'image d'une AE en autopartage comme maillon d'un bouquet plus vaste de transports. L'orientation « intersectorielle » permet d'envisager le cas des bien-systèmes qui transcendent les frontières sectorielles et industrielles des biens et services les composant. En explicitant la mécanique combinatoire – du point de vue technologique et fonctionnel – qui découle du croisement entre les technologies et les secteurs, l'innovation « combinatoire » (Varian et al., 2004) a enrichi notre compréhension du processus de convergence sectorielle et a souligné les conditions d'ancrage systémique de l'AE aux infrastructures énergétiques, dans une configuration où il assure à la fois une « fonction de déplacement » et une « fonction de stockage » de l'électricité.

A partir du passage des trois orientations inventoriées au crible d'une lecture en termes de fonctionnalité, nous avons défriché et développé quatre modèles-types de systèmes d'électromobilité, qui se posent comme autant de configurations sociotechniques alternatives. Il s'agit des modèles « substitution rigide », « substitution flexible », « autopartage » et « multiface », dont les propriétés respectives se superposent aux quatre systèmes de la typologie de Lesourne (1976). Le modèle « substitution flexible » s'assimile à un « système à états » dépourvu de régulation interne et qui évolue au gré des comportements non prédéfinis des automobilistes. Dans ce cadre, l'AE est utilisée semblablement à son homologue thermique, en autosolisme ou bien selon des formes de déplacement novatrices gravitant entre la voiture particulière et les transports collectifs. Le modèle « substitution rigide » fait écho au « système à buts », dans la mesure où son unique finalité est parfaitement spécifiée. Il s'agit d'assurer un transport – public ou individuel, de personnes ou de marchandises – prédéfini, selon deux modalités, les déplacements en site propre et sous la forme de tournées. Le modèle

« autopartage » s’assimile à un « système à apprentissage », dans la mesure où il est capable d’adapter ses décisions en fonction des données qu’il enregistre. Un système intégrant – sous la forme de l’autopartage – l’AE à un bouquet de transports est susceptible d’orienter les usagers vers les combinaisons de modes de transport les plus efficaces et de les réorienter en fonction de l’évolution du contexte. Le modèle « multifaces » s’apparente à un « système complexe », composés de plusieurs « systèmes à buts » indépendants. Les fonctionnalités de l’AE y sont augmentées en contribuant à remplir deux fonctionnalités distinctes, une « fonction de déplacement » et une « fonction de stockage » [de l’électricité]. L’AE devient alors un maillon de l’infrastructure énergétique, en constituant une source décentralisée de stockage de l’électricité.

Au moins quatre aspects ont jalonné les multiples configurations de l’AE présentées, tantôt explicitement et tantôt implicitement.

En premier lieu, la mise en œuvre et la gestion des systèmes d’électromobilité s’appuient sur l’émergence de nouveaux acteurs, les opérateurs de mobilité électrique, les opérateurs d’autopartage et les agrégateurs de charges qui, tous, jouent le rôle d’interface entre les infrastructures routières, électriques, télécoms, ferroviaires et/ou énergétiques. De manière générique, les opérateurs de mobilité mettent en cohérence et régulent en dynamique les offres et les demandes de déplacement, mais également les accommodent à d’autres éléments, dont la nature varie au gré des systèmes d’électromobilité. Dans le modèle « substitution flexible », les « opérateurs de mobilité électrique » mettent à disposition d’un usager une prestation de gestion de l’autonomie pour son AE en l’informant sur le positionnement géographique des bornes de recharge, leur disponibilité, la possibilité de les réserver. Dans le modèle « autopartage », les « opérateurs d’autopartage » assurent l’appariement entre l’offre

de véhicules en autopartage et les demandes (individuelles) de déplacement, via l'achalandage des stations d'autopartage situées à la confluence de réseaux de transports pluriels, c'est-à-dire des nœuds intermodaux. Dans le modèle « multifactes », des « opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges » capitalisent sur le décroisement sectoriel entre les secteurs automobile, énergétique et électrique nécessitant le recours à une gestion fine et optimisée des déplacements, mais également des productions et consommations d'électricité. En faisant l'objet de toute une gamme de services de gestion des déplacements et des charges, l'AE devient connectée en permanence et constitue le support d'une « suite servicielle ».

En deuxième lieu, les problématiques soulevées par le déploiement de l'AE indiquent que celle-ci n'est pas neutre quant à la physionomie du système électrique, ou encore vis-à-vis de l'étendue des services innovants, qu'il est nécessaire d'initier pour contourner les faiblesses inhérentes à l'électromobilité. D'une part, la nature systémique de l'AE génère les conditions d'existence d'un écosystème solide, en particulier appuyé sur la mise en œuvre – par les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges – des principes des marchés à multiples versants. La démarche est de « sponsoriser » le versant de marché le plus fragile par le versant de marché ayant l'élasticité-prix la plus faible, afin d'assurer leur coexistence. Alors qu'il avait jusqu'à présent toujours failli dans la création d'un écosystème solide, l'AE entre possiblement dans un schéma schumpétérien de destruction créatrice (Schumpeter, 1942), puisque des secteurs d'activités autrefois cloisonnés se reconfigurent et semblent converger désormais. A notre sens, ce n'est donc pas tant la percée des batteries d'accumulateurs avancées, que les promesses d'un développement exponentiel des services associés à l'électromobilité, qui invite de nombreux acteurs à investir l'industrie de l'AE et ainsi à en précipiter l'émergence. Chacun d'eux est, en effet, incité à accéder à une place enviable le long d'une chaîne de valeur qui se crée de manière *ad hoc*, notamment en

procédant à des innovations organisationnelles et technologiques, contribuant ainsi à rendre intelligente et interactive l'AE évoluant dans un réseau – *a minima* – routier.

En troisième lieu, l'ancrage des systèmes d'électromobilité dans le régime sociotechnique dominant transite par des interfaces de couplage qui assurent l'ajustement des caractéristiques intrinsèques de l'AE aux usages de déplacement et aux propriétés du territoire. Leur forme et leur intensité d'ancrage varient au gré des systèmes d'électromobilité. Elles se scindent en deux catégories, les passerelles technologiques (Bunn et David, 1988) et les dispositifs intégrateurs. La première des passerelles technologiques, commune à tous les systèmes d'électromobilité, repose sur les TIC. Transversales, par définition, ces technologies assurent à l'AE d'être connectée en permanence et d'être l'origine ou la destination de nombreuses informations favorisant la flexibilité de son usage, telle que l'assurance d'accéder à une borne de charge disponible. Dans le modèle « autopartage », les nœuds intermodaux et les modalités de paiement uniques (type *pass Navigo*) permettent, chacun à leur manière, d'ancrer l'autopartage aux modes de transport et de mobilité alternatifs. Dans le modèle « multifactes », les technologies *smart grids* constituent également des passerelles technologiques, grâce à la propriété bidirectionnelle qu'elles injectent aux systèmes électrique et énergétique, au sein desquels l'énergie circule désormais du réseau électrique public vers le réseau domestique et réciproquement. Ces interfaces de couplages intriquant des réseaux de natures distincts sont – en grande partie – à l'origine de l'existence de rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés autour de l'AE. Par le biais de différents canaux, tenant aussi bien à la fonction de mobilité qu'à la fonction de stockage de l'AE, la dynamique de diffusion de ce dernier se singularise en effet par une situation dans laquelle l'utilité associée à l'adoption de l'AE par un agent croît avec son degré de diffusion.

En quatrième lieu, l'optimisation des systèmes d'électromobilité est marquée du sceau du territoire. La gestion des flux de déplacements et, dans certains cas, des périodes de charge et décharge des AE est intimement articulée à la problématique territoriale car ces données doivent être contextualisées pour gagner en valeur. En effet, le « territoire », dans ses acceptions géographique (topologie, qualité et densité de l'infrastructure routière, mixte énergétique, etc.), économique (mixte énergétique, distance entre les lieux de production et de consommation d'électricité), socioéconomique (densité de population, proportion de logements privatifs ou collectifs, orientation et importance des flux de déplacement, nature des flux en termes de déplacements professionnels ou privés, etc.) et politique (politique de subventionnement, droit à la prise, politiques volontaristes de soutien aux EnR intermittentes, mise en place de Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air, etc.), constitue la clé de voûte de la compréhension des flux de déplacements et des gains associés au stockage de l'électricité par les batteries d'accumulateurs des AE et, par-là, du potentiel territorialisé de diffusion de l'AE. Chaque territoire se singularise en effet par des propriétés dont le degré de correspondance aux différentes modalités d'émergence de l'AE est plus ou moins élevé. La **Partie 3** se propose de fournir une analyse ordonnée des facteurs de juxtaposition entre le territoire et l'AE afin de comprendre quelles en sont les conditions territorialisées d'émergence.

Dans la suite de ce travail, nous nous inscrirons dans une logique d'arrimage graduel des systèmes d'électromobilité au sein des territoires. Nous appréhenderons successivement le territoire comme un creuset des dynamiques d'émergence de l'AE, puis comme « agent actif » (Decoster et al., 2004) de l'émergence de l'AE ¹¹³. Dans un premier temps, nous considérerons ainsi le territoire comme un simple réceptacle des innovations offrant des

¹¹³ Selon la terminologie introduite par l'Ecole de la Proximité (Colletis et al., 1997), en termes de « ressources et d'actifs génériques et spécifiques », le territoire comme creuset se rapporte à « l'activation de ressources génériques », i.e. à une logique de localisation, tandis que le territoire comme « agent actif » fait écho à la « spécification d'actifs », i.e. à une « logique de territorialisation ou d'ancrage territorial ».

facteurs favorables de localisation (infrastructures, flux de déplacements, etc.), qu'il s'agira de répertorier. Afin d'illustrer cette démarche, nous mobiliserons notamment l'approche lancastérienne (Lancaster, 1966) en termes de caractéristiques du produit, pour la capacité de cet outil heuristique à permettre de saisir la dynamique d'émergence territorialisée des innovations assimilables à des bien-systèmes, à l'instar des systèmes d'électromobilité. Nous nous appuierons également sur les travaux de l'économie territoriale et géographique pour capter la faculté du territoire à présider aux destinées des innovations. On s'interrogera sur sa capacité à internaliser les processus avancés, à diffuser en son sein et en dehors les innovations, de sorte que « le système territorial entre dans le fait productif » (Gaffard, 1986). Au final, il s'agira pour nous de souligner que les différentes configurations d'émergence de l'AE, basées sur la mosaïque des systèmes d'électromobilité inventoriés dans la **Partie 2**, sont spécifiées par les territoires dans lesquels ils s'ancrent et, en creux, qu'il n'existe pas une, mais des AE.

Bibliographie de la Partie 2

- ABRAHAM-FROIS G. (2004), *Introduction à la micro-économie*, Economica, 446 pages.
- ACA (2012.b), *Le budget de l'automobiliste type - 2012*, Automobile Club Association, Juin 2012, 38 pages.
- ADAMS W. J. et YELLEN J. L. (1976), « Commodity Bundling and the Burden of Monopoly », *Quarterly Journal of Economics*, n°90, pp.475-498.
- ADEME (2011.b), *Les systèmes de stockage d'énergie*, Feuille de route stratégique n°6919, Avril 2011, 32 pages.
- ADEME (2013), *Enquête nationale sur l'autopartage – l'autopartage comme déclencheur d'une mobilité alternative à la voiture particulière*, Rapport de recherche, Janvier 2013, 82 pages.
- AGGERI F., ELMQUIST M. et POHL H. (2009), « Managing learning in the automotive industry : The innovation race for electric vehicles », *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol.9, n°2, pp.123-147.
- ANDERSON J. et ANDERSON C.D. (2005), *Electric and Hybrid Cars : A History*, McFarland & Co, London, 267 pages.
- ARTHUR W.B. (1989), « Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical small events », *Economic Journal*, Vol.99, n°394, pp.116-131.
- AUDRETSCH D. (1995), *Innovation and Industry Evolution*, MIT Press, New York, 221 pages.
- BAINEE J. (2012), « Les opérateurs de mobilité électrique », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (eds.), *L'innovation verte – de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.125-148.

- BAINÉE J. et LE GOFF R (2012), « Territoire, industrie et « bien système », le cas de l'émergence d'une industrie du véhicule électrique en Californie » *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.303-326.
- BALDWIN C.Y. ET CLARK K.B. (2006), « Modularity in the Design of Complex Engineering Systems », in D. BRAHA, A.A. MINAI ET Y. BAR-YAM (Eds.), *Complex engineered systems : science meets technology*, Springer, pp.175-205.
- BARCET A., BONAMY J. et MAYERE A. (1984), « Recherches Économiques et Sociales », La Documentation Française, n°9, pp.119-135.
- BARGIGLI L. (2005), « The limits of modularity in innovation and production », Working Papers 176 : Centre for Knowledge, Internationalization and Technology Studies, Université de Bocconi, Milan, 30 pages.
- BARLOW J. et JASHAPARA A. (1998), « Organisational learning and inter-firm « partnering » in the UK construction industry », *The Learning Organisation*, Vol.5, n°2, pp.86-98.
- BEAUME R. et MIDLER C. (2009), « From technology competition to reinventing individual ecomobility : New design strategies for electric vehicles », *International Journal of Automotive technology and Management*, Vol.9, n°2, pp.174-190.
- BECKER T.A., SIDUH I. et TENDERICH B. (2009), *Electric Vehicles in the United States - A New Model with Forecasts to 2030*, Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley, Août 2009, 36 pages.
- BELZ F-M. (2001), « Mobility Car Sharing°; Successful Marketing of Eco-Efficient Services », *Eco-Efficiency in Industry and Science*, Vol.6, pp.133-141.
- BERGENDAHL G. (1995), « The profitability of bancassurance for European banks », *International Journal of Bank Marketing*, Vol.13, n°1, pp.17-28.
- BRESNAHAN T.F. et TRAJTENBERG M. (1995), « General Purpose Technologies : Engines of Growth ? », *Journal of Econometrics*, Vol.65, pp.83-108.

- BUNN J.A. et DAVID P.A. (1988), « The economics of gateway technology and network evolution : lessons from electrical supply history », *Information Economics and Policy*, Vol.3, n°2, pp.165-202.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMEN M. et RICKNE A. (2002), « Innovation systems : analytical and methodological issues », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.233-245.
- CARLSSON B. et STANKIEWICZ R. (1991), « On the Nature, Function, and Composition of Technological systems », *Journal of Evolutionary Economics*, Vol.1, n°2, pp.93-118.
- CARLTON D. et WALDMAN M. (2002), « The Strategic Use of Tying to Preserve and Create Market Power in Evolving Industries », *Rand Journal of Economics*, n°33, pp.194-220.
- CATEL F. et MONATERI J-C. (2007), « Modularité et dynamique des relations durables entre entreprises : le cas des produits et systèmes complexes », Colloque international : « Analyses et transformations de la firme : une confrontation entre économistes, gestionnaires et juristes », LEFI - Université Lyon Lumière, 22-23 Novembre 2007, Lyon, 28 pages.
- CERTU (2007.a), *Le covoiturage en France et en Europe – Etat des lieux et perspectives*, Les rapports d'étude du Certu, Octobre 2007, 86 pages.
- CERTU (2007.b), *L'autopartage au sein d'un bouquet d'offres pour une mobilité urbaine durable*, Documentation interne, Novembre 2007, 27 pages.
- CERTU (2008), *L'autopartage en France et en Europe – Etat des lieux et perspectives*, Les rapports d'étude du Certu, Décembre 2008, 59 pages.
- CETELEM (2009), *La voiture propre, enfin des pistes sérieuses, mais pas pour demain*, Observatoire CETELEM de l'Automobile, Octobre 2009, 92 pages.
- CHABAUD D. et MESSENGHEM K. (2010), « Le paradigme de l'opportunité. Des fondements à la refondation », *Revue française de gestion*, Vol.7, n°106, pp.93-112.
- CHAMBERLIN E.H. (1933), *The Theory of Monopolistic Competition*, Harvard University Press, Cambridge, 396 pages.

- CHANARON J-J. et LUNG Y. (1995), *Economie de l'automobile*, Repère la découverte, Paris, 124 pages.
- CHESNAY M. (1980), *Transports et espace français*, Masson, Paris, 212 pages.
- COGGINS J. et SENAUER B. (1999), « Grocery Retailing », in MOWERY D.C. (Ed.), *US industry in 2000 : Studies in competitive performance*, National Academy Press, Washington DC, pp.155-177.
- COMMISSION EUROPEENNE (2007), *Livre vert sur la convergence des secteurs des télécommunications, des médias et des technologies de l'information, et les implications pour la réglementation – Vers une approche pour la société de l'information*, Livre Vert de la Commission Européenne, Décembre 2007, 54 pages.
- COMMISSION EUROPEENNE (2011.b), *Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources*, Livre Blanc de la Commission Européenne, Mars 2011, 35 pages.
- COQUIO J. (2008), La performance adaptative des systèmes de transports collectifs. Modélisation, mesures de vulnérabilité et évaluation quantitative du rôle de l'information des voyageurs dans la régulation des situations perturbées [En ligne], Thèse de Doctorat : Aménagement de l'espace et de l'urbanisme, Tours : Université François Rabelais, 401 pages. Disponible sur :
<http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/37/22/65/PDF/These.pdf> (Page consultée le 21/12/2012).
- COLLETIS G., GILLY J-P., PECQUEUR B., PERRAT J. et ZIMMERMAN J-B. (1997), « Firms et territoires : entre nomadisme et ancrage », *Espaces et Sociétés*, n°88/89, pp.115-137.
- CRUNCHBASE, Latest on Fundings, Acquisitions, and Startup Events [En ligne] :
<http://www.crunchbase.com> (Page consultée le 06/05/2011).
- CUMMINS J.D. (2005), « Convergence in Wholesale Financial Services : Reinsurance and Investment Banking », *The Geneva Papers*, Vol.30, pp.187-222.

- CURIEN N. (2000), *Economie des réseaux*, Repères la découverte, 123 pages.
- DAVID P.A. (1985), « Clio and the economics of QWERTY », *American Economic Review*, Vol.75, n°2, pp.332-337.
- DE BANDT J. (2002), « L'émergence du nouveau système technique ou sociotechnique », *Revue d'économie industrielle*, Vol.100, pp.9-38.
- DECOESTER E., MATTEACCIOLI A. et TABARIES M. (2004), « Les étapes d'une dynamique de territorialisation : le pôle optique en Ile de France », *Géographie, Économie et Société*, n°4, pp.383-413.
- DELSEY J. (2008), « La motorisation des véhicules », in *Prospective : l'innovation, quelle sacrée aventure*, Journal d'Information Technologique des Pays de Savoie, Hors série, 102 pages.
- DESJEUX D., ALAMI S et MARNAT D. (2006), « Les sens anthropologiques de la mobilité ou la mobilité comme brouilleur des bornes de la ville », in BONNET M. ET AUBERTEL P. (Eds.), *La ville aux limites de la mobilité*, Presses Universitaires de France, Paris, pp.33-57.
- DIETRICH K., LATORRE J.M., OLMOS L. et RAMOS A. (2011), How can the use of electric vehicles affect the curtailment of renewable generation ?, Colloque international : 6th Conference on Energy Economics and Technology, ENERDAY 2011, 8 Avril 2011, Dresden, Germany, 17 pages.
- DREAN G. (1996), *L'industrie informatique : structure, économie, perspectives*, Masson, Paris, 389 pages.
- ECONOMIDES N. (1996), « The economics of networks », *International Journal of Industrial Organization*, n°14, pp.673-699.
- ECONOMIDES N. et SALOP S.C. (1992), « Competition and integration among complements, and network market structure », *Journal of Industrial Economics*, Vol.40, n°1, pp.105-123.

- ECONOMIDES N. et VIARD B. (2008), « Pricing of complements and network effects », in FAULHABER G.R., MADDEN G. et PETCHEY J. (Eds.), *Regulation and Performance of Communication and information networks*, Edward Elgar, Northampton, pp.157-190.
- EDF (2010), *EDF, acteur incontournable de la mobilité électrique*, Dossier de Presse, Septembre 2010, 33 pages.
- EIGLIER P. et LANGEARD E. (1987), *Servuction, le marketing des services*, McGraw Hill, Paris, 202 pages.
- EL YOUNSI H. (2012), *Le recentrage des entreprises fondements, théorie et approche empirique*, Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Paris : Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 481 pages.
- ENRIETTI A. et PATRUCCO P.P. (2011.a), Systemic innovation and organizational change in the car industry : electric vehicle innovation platforms, *European Review of Industrial Economics and Policy* [En ligne], n°3, (Page consultée le 21/07/2011).
<http://revel.unice.fr/eriep/index.html?id=3293>.
- ENRIETTI A. et PATRUCCO P.P. (2011.b), « Collective innovation and systemic reconfiguration in the car industry : The case of electric vehicles », *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol.38, n°1, pp.85-106.
- FERGUSON S.M. et FOMAI S. (2011), « Institution-driven comparative advantage, complex goods and organizational choice », Working Paper n°879 : Institute of Industrial Economics, Stockholm, Suède, 38 pages.
- FLICHY P. (1995), *L'innovation technique : récents développements en sciences sociale : vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Repère la découverte, Paris, 256 pages.
- FORAY D. (1989), « Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.48, n°1, pp.16-34.
- FREEMAN C. (1995), « The national system of innovation in historical perspective », *Cambridge Journal of Economics*, Vol.19, n°1, pp.5-24.

- FREMONT A. (1976), *La Région, espace vécu*, Presses universitaires de France, Paris, 223 pages.
- FRERY F. (2000), « Les produits éternellement émergents : le cas de la voiture électrique », in MANCEAU D., BLOCH A. (Eds.), *De l'idée au marché. Innovation et lancement de produits*, Vuibert - Collection Vital Roux, pp.234-264.
- FRESHMILE, Votre voiture électrique facile [En ligne] :
<http://www.freshmile.com/bienvenue/> (Page consultée le 10/10/2013).
- FRIGANT V. (2005), « Vanishing hand versus Systems integrators - Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité », *Revue d'Economie Industrielle*, n°109, pp.29-52.
- GABSZEWICZ J. et WAUTHY X. (2004), « Two-sided Markets and Price Competition with Multi-Homing », CORE Discussion Paper n°2004/30 : Center for Operations Research and Econometrics, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, 12 pages°;
- GAFFARD J-L. (1986), « Restructuration de l'espace économique et trajectoires technologiques », in AYDALOT P. (éd.), *Milieus innovateurs en Europe*, GREMI, Paris, pp.17-27.
- GAMBARDELLA A. et TORRISI S. (1998), « Does technological convergence imply convergence in markets ? Evidence from the electronics industry », *Research Policy*, n°27, pp.445-463.
- GEELS F.W. (2004), « From sectoral systems of innovation to socio-technical systems : insights about dynamics and change from sociology and institutional theory », *Research Policy*, Vol.33, pp.897-920.
- GEELS F.W. (2011), « The multi-level perspective on sustainability transitions : responses to seven criticisms », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol.1, pp.24-40.

- GEELS F.W. et SCHOT Y. (2007), « Typology of sociotechnical transition pathways », *Research Policy*, Vol.36, pp.399-417.
- GILLE B. (1978), *Histoire des Techniques : technique et civilisation, technique et sciences*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris, 1652 pages.
- GREENSTEIN S. et KHANNA T. (1997), « What does industry convergence mean », in YOFFIE D. (Ed.), *Competing in the age of digital convergence*, Harvard Business School Press, Boston, pp.201-226.
- HAMDOUCH A. (2002), « Complémentarités inter-firmes, préemption de partenaires et rendements croissants de coalition : Une formalisation des logiques de rapprochement entre firmes face aux nouvelles technologies et à la globalisation », *Région et Développement*, n°16, pp.161-189.
- HAMILTON W. (1980), *Electric Automobiles : Energy Environmental and Economic Prospects for the Future*, McGraw Hill Book Company, 425 pages°;
- HEATON L. (1995), « Convergence ou rattrapage ? Les télécommunications et les nouveaux medias au Japon », *Technologies de l'Information et Société*, Vol.7, n°2, pp.131-147.
- HENDERSON R.M. et CLARK K.B. (1990), « Architectural innovation : The reconfiguration of existing product technologies and failure of established firms », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°1, pp.9-30.
- HICKS J.R. (1939), *Value and Capital : An Inquiry into Some Fundamental Principles of Economic Theory*, Clarendon Press, Oxford, 340 pages.
- HOBDAY M. (2000), « The project-based organisation°: an ideal form for managing complex products and systems°? », *Research Policy*, n°29, pp.871-893°;
- HOBDAY M. et RUSH H. (2000), « Editorial », *Research Policy*, n°29, pp.793–804.
- KATZ M. et SHAPIRO C. (1985), « Network Externalities, Competition and Compatibility », *American Economic Review*, Vol.75, n°3, pp.424-440.

- KOBAYASHI B.H. (2005), « Does economics provide a reliable guide to regulating commodity bundling by firms ? A survey of the economic literature », *Journal of Competition Law & Economics*, Vol.1, n°4, pp.707-746.
- LANCASTER K.J. (1966), « A new approach to consumer theory », *The Journal of Political Economy*, Vol.54, n°2, pp.132-157.
- LANTNER R. (1974), *Théorie de la dominance économique*, Paris, Dunod, 325 pages.
- LAUGIER R. (2012), *L'étalement urbain en France – synthèse documentaire*, Centre de ressources documentaires Aménagement, Logement, Nature, Février 2012, 23 pages.
- LE DORTZ L. et LEQUEUX F. (1999), Dynamique concurrentielle et coopération dans le cadre d'une industrie émergente : l'exemple du multimédia, Colloque de l'ADIS « La coopération industrielle : diversité et synthèse », Faculté Jean Monnet, 3-4 mai 1999, Sceaux, 22 pages.
- LE MOIGNE J-L. (1977), *La théorie du système général : théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris, 338 pages.
- LEQUEUX F. (2002), Concurrence et effets de dominance économique dans l'industrie multimédia, Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Paris : Université Paris I Panthéon-Sorbonne, 552 pages.
- LESGARDS V. (2011), « Grappes d'innovations sur les réseaux électriques et les concessions des collectivités locales (eau, déchets). Une lecture schumpétérienne du *smart grid* », *Innovations. Les Cahiers de l'innovation*, Vol.1, n°34, pp.57-76.
- LESOURNE J. (1976), *Les systèmes Du Destin*, Dalloz, Paris, 449 pages.
- LESOURNE J. (2009), *Les crises et le XXIe siècle*, Odile Jacob, Paris, 345 pages.
- LINDAHL M. et ÖLUNDH G. (2001), The Meaning of Functional Sales, Colloque international : 8th International Seminar on Life Cycle Engineering, June 18-20 2001, Varna, Bulgarie, 10 pages.

- LUNDVALL B-A. (1988), « Innovation as an interactive process : from user-producer interaction to the national system of innovation », in DOSI G., FREEMAN C. ET NELSON R. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, London, pp.349-369.
- MANUEL D'OSLO (1992), *La mesure des activités scientifiques et technologiques – Principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, OCDE, Paris, 162 pages.
- MATUTES C. et REGIBEAU P. (1992), « Compatibility and Bundling of Complementary Goods in a Duopoly », *Journal of Industrial Economics*, Vol.40, n°1, pp.37-54.
- MEEDAT (2008), *économie de fonctionnalité*, Rapport final au Ministre d'Etat, Ministre de l'Energie, de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, Grenelle de l'Environnement, Octobre 2008, 58 pages.
- MENANTEAU P., FINON D. et LAMY M-L. (2003), « L'intégration de la production intermittente dans les marchés électriques libéralisés : des surcoûts techniques aux pénalités économiques imposées par les règles de fonctionnement des marchés », *Cahier de recherche LEPII, Série EPE*, n°32, pp.1-17.
- MILBORROW D. (2001), « Penalties for intermittent sources of energy », Working Paper : Performance and Innovation Unit, Department for Business, Innovation and Skills, Londres, Grande-Bretagne, 17 pages.
- MITCHELL W. et SINGH K. (1996), « Survival of businesses using collaborative relationships to commercialize complex goods », *Strategic Management Journal*, n°17, pp.169-195.
- MOATI P., RANVIER M. et SURY R. (2006), « Des bouquets pour répondre globalement aux besoins des clients – éléments pour l'analyse économique d'une nouvelle forme d'organisation des marchés dans le régime de croissance post-fordien », *Cahier de recherche n°230 : Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie*, Paris, France, 138 pages.

- NICOLON A. (1984), *Le véhicule électrique : mythe ou réalité ?*, Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 136 pages.
- OVE (2009.b), *L'autopartage en France et dans le monde, la mobilité de demain ?*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Cahiers « Gestion des véhicules », Septembre 2009, 48 pages.
- PATRUCCO P-P. (2012), « Innovation platforms, complexity and the knowledge-intensive firm », in DIETRICH M. et KRAFFT J. (Eds.), *Handbook on the Economics and Theory of the Firm*, Edward Elgar, Cheltenham, pp.372-392.
- PENNINGS J. et PURANAM P. (2001), Market Convergence & Firm Strategy^o: new directions for theory and research, Colloque international : The Future of Innovation Studies, ECIS Conference, 20-23/09/2001, Eindhoven, Pays-Bas, 37 pages.
- PERROT A. (1995), « Ouverture à la concurrence dans les réseaux : l'approche stratégique de l'économie des réseaux », *Économie et Prévision*, Vol.119, n°3, pp.59-71.
- PERSSON M. et AHLSTROM P. (2005), « Managerial issues in modularizing complex products », *Technovation*, Vol.26, n°11, pp.1201-1209.
- PRETTENTHALER F.E. et STEININGER K.W. (1999), « From Ownership to Service Use Lifestyle : The Potential of Car Sharing », *Ecological Economics*, n°28, pp.443-453.
- RALLET A. (1996), « Convergence technologique et organisation industrielle de l'audiovisuel, de l'information et des télécommunications », in BROUSSEAU E., PETIT P. ET PHAN D. (Eds.), *Mutations des télécommunications, des industries et des marchés*, Economica, Paris, pp.263-295.
- RATTI C. (2009), *Les technologies de l'information sauveront-elles la planète USA ?*, Institut pour la Ville en Mouvement, Décembre 2009, 4 pages.
- ROBINSON J. (1933), *The economics of imperfect competition*, Macmillan, Londres, 352 pages.

- ROCHET J-C. et TIROLE J. (2003), « Platform Competition in Two-Sided Markets », *Journal of the European Economic Association*, Vol.1, n°4, pp.990–1029.
- ROCHET J-C. et TIROLE J. (2006), « Two-Sided Markets : A Progress Report », *RAND Journal of Economics*, vol.37, n°3, pp.645-667.
- SCHMALENSEE R. (1982), « Commodity Bundling by a Single-Product Monopolist », *Journal of Law and Economics*, n°25, pp.67-71.
- SCHMALENSEE R. (1984), « Gaussian Demand and Commodity Bundling », *Journal of Business*, Vol.57, n°1, pp.211-230.
- SCHOT Y. et GEELS F.W. (2008), « Strategic niche management and sustainable innovation journeys : theory, findings, research agenda and policy », *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol.20, pp.537-554.
- SCHRADER U. (1999), « Customer Acceptance of Eco-Efficient Services : A German Perspective », *Greener Management International*, Vol.25, pp.105-121.
- SCHUMPETER J.A. (1942), *Capitalism, Socialism, and Democracy*, Harper & Row, New York, 381 pages.
- SCOTT W.R. (2001), *Institutions and organizations*, Sage Publications (2^{ème} ed.), London, 255 pages.
- SHOCKER A.D., BAYUS B.L. et KIM N. (2004), « Product complements and substitutes in the real world : The relevance of « other products » », *Journal of Marketing*, Vol.68, pp.28-40.
- SMITS R. (2002), « Innovation studies in the 21st century », *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.69, pp.861-883.
- SONNAC N. (2006), « Médias et publicité, ou les conséquences d'une interaction entre deux marchés », *Le Temps des médias*, n°6, pp.49-58.

- SOUCHON A. (2006), De l'intermodalité à la multimodalité : enjeux, limites et perspectives, Mémoire Master : Transports Urbains et Régionaux de Personnes, Lyon : Université Lumière Lyon 2, 108 pages.
- SPERLING D. (1995), *Future Drive – Electric Vehicles and Sustainable Transportation*, Island Press, Washington, 175 pages.
- STAHEL W. (1994), « The Utilisation-Focused Service Economy°: Resource Efficiency and Product-Life Extension », in ALLENBY B.R. (Ed.), *The Greening of Industrial Ecosystems*, National Academy Press, Londres, pp.178-190.
- STAHEL W. (1997), « The Functional Economy°: Cultural and Organizational Change », in RICHARDS D.J. (Ed.), *The Industrial Green Game : Implications for Environmental Design and Management*, National Academy Press, Londres, pp.91-100.
- STAHEL W. (2006), *The Performance Economy*, Palgrave Macmillan, London, 208 pages.
- STAHEL W. et GIARINI O. (1989), *The Limits to Certainty°: Facing Risks in the New Service Economy*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 168 pages.
- STREMERSCHE S. et TELLIS G.J. (2002), « Strategic bundling of products and prices : A new synthesis for marketing », *Journal of Marketing*, Vol.66, n°1, pp.55-72.
- STURGEON T. (2002), « Modular production networks°: a new American model of industrial organization », *Industrial and Corporate Change*, Vol.11, n°3, pp.451-496.
- TEECE D.J. (1984), « Economic analysis and strategic management », *California Management Review*, Vol.26, n°3, pp.87-110.
- TISCHNER U., VERKUIJL M. et TUKKER A. (2002), *Product Service Systems°: best practice document*, SusProNet, Février 2002, 133 pages.
- TOMIĆ J. et KEMPTON W. (2007), « Using fleets of electric-drive vehicles for grid support », *Journal of Power Sources*, Vol.168, n°20, pp.459-468.

- ULRICH K. (1995), « The role of product architecture in the manufacturing firm », *Research Policy*, Vol.24, pp.419-440.
- ULRICH K. et EPPINGER S.D. (2000), *Product Design and Development*, McGraw-Hill (2^{ème} éd.), New-York, 384 pages.
- UTTERBACK J.M. et ABERNATHY W.J. (1975), « A dynamic model of process and product innovation », *The International Journal of Management Science*, Vol.3, n°6, pp.639–656.
- UTTERBACK J.M. et SUAREZ F.F. (1993), « Innovation°: competition, and industry structure », *Research Policy*, n°15, pp.285–305.
- VAILEANU-PAUN I. et BOUTILLIER S. (2012), « Développement durable - Du paradigme de l'économie industrielle à l'économie de la fonctionnalité », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.), *L'innovation verte - de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.31-67.
- VAN NIEL J. (2007), *L'économie de fonctionnalité°: définition et état de l'art*, Université Technologique de Troyes, Mai 2007, 17 pages.
- VARIAN H.R., FARRELL J.V. et SHAPIRO C. (2004), *The Economics of Information Technology : An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, 102 pages.
- WALSH V. et LODORFOS G. (2002), « Technological and Organizational Innovation in Chemicals and Related products », *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.14, n°3, pp.273-298.
- WAUTHY X. (2008.a), « Concurrence et régulation sur les marchés de plateforme : une introduction », *Reflets et perspectives de la vie économique*, Vol.0, n°1, pp.39-54.
- WAUTHY X. (2008.b), « No free lunch sur le Web 2.0! Ce que cache la gratuité apparente des réseaux sociaux numériques », *Regard économiques*, n°59, pp.1-10.

- WEAVER B. (2007), « Research proposal : industry convergence - driving forces, factors *and* consequences », Colloque : Nordic Academy of Management Conference, Lund University, 8/10/2007, Suède, 20 pages.
- WESTBROOK M.H. (2001), *The Electric Car : development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars*, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, 198 pages.
- WEYL G. (2010), « A Price Theory of Multi-sided Platforms », *American Economic Review*, Vol.100, n 4, pp.1642-1672.
- WHINSTON M. (1990), « Tying, Foreclosure, and Exclusion », *American Economic Review*, Vol.80, n°4, pp.837-860.
- ZARING O., BARTOLOMEO M., EDER P., HOPKINSON P., GROENEWEGEN P., JAMES P., DE JONG P., NIJHUIS L., SCHOLL G., SLOB A. et ÖRNINGE M. (2001), *Creating Eco-efficient Producer Services*, Gothenburg Research Institute, Février 2001, 503 pages.
- ZIMMERMAN J-B. (1989), « Groupes industriels et grappes technologiques », *Revue d'économie industrielle*, Vol.47, n°1, pp.89-102.
- ZIMMERMAN J-B. (1995), « Le concept de grappes technologiques : un cadre formel », *Revue Economique*, Vol.46, n°5, pp.1263-1295.
- ZHOU Z-H. (2003), « Industry convergence : historical symbol of industry innovation - analysis on case of convergence of telecom, broadcasting and publishing », *Industry Economy, Research*, n°1, pp.27-42.

Partie 3 :

L'automobile électrique comme bien-système territorialisé

En complément de l'analyse statique de l'émergence et de la diffusion de l'AE transitant par l'identification de systèmes génériques d'électromobilité, nous abordons désormais la problématique des processus dynamiques d'émergence et de diffusion de l'AE. Soulignons que le terme « dynamique » est pris dans un sens évolutionnaire et non mécaniste. « Une conception mécaniste de la dynamique supposerait la réversibilité logique des processus où le temps, dans le modèle explicatif, n'est qu'un paramètre parmi d'autres et n'induit pas, par son écoulement propre, des irréversibilités dans le système » (Vercueil, 2013, p.32). « La conception évolutionnaire que nous reprenons ici repose, au contraire, sur un temps orienté : la « flèche du temps » impose des irréversibilités et des discontinuités dans l'évolution des systèmes d'institutions, qui donnent un tour *path dependent* à leurs trajectoires » (Ibid., p.34, citant Boyer, Chavance et Godard, 1991).

Dans la **Partie 2**, nous sommes parvenus à cerner la notion de « bien-système » et à en décrire ses multiples expressions. A partir du cas de l'automobile électrique, nous avons souligné l'intérêt de dégager une définition du concept de « bien-système territorialisé », dans la mesure où les systèmes d'électromobilité se conçoivent au carrefour de la co-évolution de la technologie, du territoire et des usages. La physionomie de tels systèmes est, en effet, intrinsèquement liée à la localisation géographique des activités, à la structuration sociale du territoire – en termes de densité de population ou de niveau de solvabilité – à la composition du parc automobile et des transports privés et publics collectifs, ou encore des politiques publiques volontaristes de soutien à l'AE ou aux énergies renouvelables intermittentes. En

somme, le territoire constitue la clé de voûte de la compréhension des flux de déplacement et, par-là, un révélateur du potentiel [territorialisé] de la diffusion de l'AE car les propriétés physiques, sociales et économiques propres à chaque territoire cadrent plus ou moins adéquatement aux formes d'émergence de l'AE repérées. Ces observations nous invitent à définir les « bien-systèmes territorialisés » comme des produits dont les fonctionnalités – étendues ou augmentées par rapport à la gamme des besoins usuellement satisfaite – sont actionnées ou non en fonction des propriétés d'un territoire en termes de ressources ou en fonction de l'effectivité d'un volontarisme politique.

Afin de prolonger cette ébauche d'une conception théorique du bien-système territorialisé et veiller à son applicabilité, il nous faut comprendre et interpréter comment l'AE s'adapte au territoire et comment, en retour, le territoire parvient à se reconfigurer pour permettre l'émergence et la diffusion [en dynamique] de l'AE. La thèse que nous défendons est, en effet, que l'innovation de l'AE n'est pas « acontextuée » ni « aspatiale » et que la faculté de l'électromobilité à infuser le territoire et la faculté des territoires à ancrer l'AE forgent décisivement la réussite de ce dernier. Notre **Partie 3** propose ainsi de fournir une analyse ordonnée et synthétique des facteurs de juxtaposition entre le territoire et l'AE afin d'explicitier quelles en sont les conditions et les probabilités d'émergence territorialisée.

En première maille, nous replaçons nos réflexions dans le canevas de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002). Dans ce cadre, nous assimilons les systèmes d'électromobilité aux « niches de marché » de la perspective multi-niveaux. En effet, il nous semble que les quatre systèmes d'électromobilité préalablement identifiés constituent les points d'arrimage de l'AE dans le territoire et agissent à la manière des « niches de marché » de la perspective multi-niveaux en interrogeant l'alignement des composantes du système sociotechniques dominant

(Geels et Schot, 2007). Aussi, nous inscrivons la problématique de l'émergence et de la diffusion de l'AE dans l'évolution des régimes sociotechniques et l'intégrons, plus largement, dans le cadre de la transition des systèmes sociotechniques.

En seconde maille, nous couplons la perspective multi-niveaux à l'approche territoriale de l'économie, pour laquelle « la contextualité du territoire et le mode d'organisation du milieu local favorisent ou défavorisent les comportements innovateurs et le mettent en mesure de s'engager dans une dynamique créatrice ». (Decoster et al., 2004, p.384) L'enjeu s'avère alors d'opérationnaliser la perspective multi-niveaux en la mâtinant d'une teinte « territoriale », prolongeant en cela les préconisations de Whitmarsh (2012). Cet éclairage original répond, en effet, aux critiques formulées par Whitmarsh (2012) sur la difficulté de la perspective multi-niveaux à saisir toutes les facettes de l'émergence de systèmes de transport écologiquement vertueux. Plus précisément, si les travaux relevant de la perspective multi-niveaux identifient avec force détails les formes d'interactions entre les niches et le régime sociotechnique (Rip et Kemp, 1998 ; Geels, 2002, 2005 ; Geels et Kemp, 2007 ; Geels et Schot, 2007 ; Van Bree et al., 2010 ; Dijk, 2013), aucun de ceux-là n'a cherché à décrire et à expliciter concrètement quels sont les canaux par lesquels une niche s'inscrit, interroge ou remplace un système sociotechnique dominant et, par-là, transforme un régime sociotechnique, dans le cas particulier des bien-systèmes territorialisés. Il nous semble, au contraire, que la double lecture dynamique et territoriale nous offre l'opportunité de préciser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions du régime sociotechnique, de même que le rôle « situé » des acteurs et des ressources territoriales dans l'émergence de l'AE.

Rappelons que longtemps durant, la prise en compte du territoire dans les dynamiques technologiques a été balbutiante et s'est ensuite dessinée graduellement. Historiquement,

l'analyse économique spatiale a d'abord concerné l'entreprise dans le cadre théorique de l'économie néoclassique. Sa finalité était la détermination d'une localisation optimale pour un entrepreneur désirant implanter une unité nouvelle (Zimmermann, 2008). La notion de territoire émerge notamment par le biais des travaux de Marshall (1920), qui introduit le concept d'« économies externes », devenant avec le temps celui d'externalités et traduisant l'idée que la présence à proximité d'un certain nombre d'entreprises contribue à la diminution du coût de production de chacune d'entre elles. Chacune de ces conceptions véhicule l'idée d'un espace « contenant passif », lieu de développement des stratégies de localisation des firmes et simple réceptacle des activités (Kahn, 2010). Néanmoins, une révolution épistémologique en économie, concomitante d'une évolution de la réalité économique¹¹⁴, marque le passage à une définition plus large du territoire comme un espace socialement organisé, producteur de ressources spécifiques et acteur du développement (Ibid.).

Comme l'observe Pecqueur (2004), le nombre des travaux en sciences économiques visant à donner un contenu satisfaisant à la notion de territoire progresse la fin des années 1980, l'un des apports marquants étant celui de la « théorie des milieux innovateurs » (GREMI)¹¹⁵, dans une veine institutionnaliste de l'économie. Dans ce cadre, le territoire n'offre pas uniquement des facteurs favorables de localisation¹¹⁶, mais constitue un « incubateur de l'innovation » (Aydalot, 1986, p.11), puisque « le passé des territoires, leur organisation, leurs comportements collectifs, le consensus qui les structure, sont des composantes majeures de l'innovation » (Ibid., p.11). A travers le filtre de la perspective multi-niveaux, le territoire

¹¹⁴ Il s'agit notamment de l'organisation de plus en plus territorialisée de la production qui accompagne le processus de mondialisation.

¹¹⁵ Le GREMI, pour Groupe de Recherche Européen sur les Milieux Innovateurs, est un réseau réunissant des chercheurs européens et nord-américains créé en 1984 par Philippe Aydalot et étudiant les relations entre innovation technique et territoire. A partir d'une méthodologie rigoureuse et systématique donnant lieu à cinq programmes de recherche consécutifs, le GREMI cherchera, au cours des années 1980 et 1990, à montrer le rôle déterminant joué par « les milieux comme incubateurs de l'innovation ».

¹¹⁶ Nous songeons ici à l'accès à la connaissance technologique, à la présence de savoir-faire, à la composition du marché du travail, ou encore, aux ressources énergétiques.

prend la forme d'un agent actif des processus d'émergence et de diffusion de l'AE, qui est susceptible de se recomposer sur la base d'un ancrage territorial de l'AE. La territorialisation de la technologie est ici perçue comme un processus interne à sa constitution et à son développement, c'est-à-dire une configuration dans laquelle le territoire est un vecteur indissociable de l'émergence et du développement des technologies (Bellet, 1992).

L'approche territorialisée de l'innovation souligne la nécessité d'enchâsser territorialement les processus d'innovation pour mieux en comprendre les modes d'émergence, d'existence et d'évolution. En ce sens, territoire et approche multi-niveaux offrent de concert une nouvelle grille de lecture des dynamiques économiques du développement de l'électromobilité. De fait, les choix individuels, ceux des firmes, mais également le jeu des institutions et leur capacité à intervenir dans l'offre de ressources, ainsi qu'à faire émerger des compromis, à l'échelle du territoire – du local au national – sont décisifs dans le potentiel de l'AE. En tout état de cause, « c'est de la capacité des acteurs du territoire à nouer, entretenir et développer des relations d'interdépendance économique que dépend la création de spécificités territoriales » (Coppin, 2002, p.37).

La partition que nous jouerons au fil des trois chapitres de cette **Partie 3** consiste à élaborer un outil heuristique permettant d'appréhender la logique d'émergence, d'architecturation et de diffusion des innovations assimilables à des « bien-systèmes territorialisés », c'est-à-dire des produits dont les fonctionnalités – étendues ou augmentées par rapport à la gamme des besoins usuellement satisfaite – sont actionnées ou non en fonction des propriétés d'un territoire en termes de ressources ou en fonction de l'effectivité d'un volontarisme politique. Nous postulons que de tels produits ne se conçoivent pas *ex nihilo*, mais dans un cadre spécifié par les attentes des consommateurs, par les stratégies formulées par les firmes,

appuyés sur des technologies accessibles et dans le cadre d'un territoire – administratif ou « vécu » (Frémont, 1976) – qui en délimite les frontières. De la sorte, notre approche intègre l'existence d'une dynamique duale de *demand pull* et de *technology push* (Cf. **Partie 1**) et la mise en évidence d'un mode d'appréhension des bien-systèmes territorialisés est à la fois d'essence théorique et empirique.

Dans cette **Partie 3**, notre angle d'attaque sera sémantique. Il procédera d'une clarification des éléments de base de l'approche territoriale (**Chapitre 1**) sur lesquels s'appuiera notre lecture des processus d'émergence et de diffusion de l'AE, au tamis de la perspective multi-niveaux. Pour cela, nous emploierons une vision positive de l'économie en tirant les enseignements de l'émergence d'une industrie du véhicule électrique en californie. Finalement, nous synthétiserons et rationaliserons notre appréhension des processus d'émergence et de diffusion de l'AE par le biais de la lecture lancastérienne (Lancaster, 1966) du « bien-attribut » (**Chapitre 2**). L'AE est, en effet, un bien-système sur lequel s'agrègent plusieurs types de fonctions (Cf. **Partie 2**), lesquelles fonctions sont actionnées par les territoires au regard de contraintes et d'opportunités spécifiques. Elles peuvent notamment être d'ordres géographique, en termes de conditions infrastructurelles et réglementaires, ou encore, dérivées de la densité de population.

Chapitre 1 : Une approche institutionnaliste et évolutionnaire du territoire et des dynamiques d'émergence et de diffusion de l'automobile électrique.

En économie, la littérature associant le territoire et l'innovation s'est très largement étoffée durant les deux dernières décennies. Par le biais d'une prise en compte graduelle de l'importance du territoire, d'abord dans un rôle passif de creuset, puis dans un rôle actif de « matrice des processus d'innovation » (Massard et al., 2004), nous allons revenir sur la maturation de l'approche institutionnaliste d'essence évolutionnaire en économie.

Deux grands champs d'exploration peuvent être identifiés, la question de la création technologique et l'approche dynamique du processus de territorialisation. Si chacune raisonne en termes de co-évolution des dynamiques territoriales et technologique, la première place l'emphase sur les conditions d'appropriabilité des connaissances et sur la manière dont les processus d'apprentissage garantissent la cumulativité des connaissances, essentiellement via les externalités d'apprentissage (Zaoual, 2008). L'approche par le processus de territorialisation s'attache, quant à elle, à saisir les logiques technologique, économique et institutionnelle à travers lesquelles le processus de spécification du territoire s'enclenche. Dans ce cas, outre de constituer la matrice des processus d'innovation, le territoire porte leur empreinte (Massard et al., 2004), elle même conditionnée par l'histoire, voire le contexte socioculturel, du territoire (Kahn, 2010). L'approche par le processus de territorialisation, particulièrement les travaux de Colletis et Pecqueur (1993 ; 2005), constituera une grille d'analyse originale de l'émergence de certains bien-systèmes et, plus généralement, des

systèmes sociotechniques. Nous illustrons ce point de vue à partir du cas de l'émergence d'une industrie de l'AE en Californie

L'enjeu est de traiter du rapport entre « territoire » et « bien système » en étudiant l'émergence de l'AE sous l'angle des dynamiques économique et territoriale. Les dynamiques d'émergence sont alors analysées sur longue période – par le biais d'une analyse démographique des firmes – et à l'aune du rôle des pouvoirs publics, tout en soulignant l'importance des conditions de base en termes d'institutions formelles, dans l'organisation de proximités se combinant effectivement en Californie. Ces éléments nous offrent, à un niveau d'abstraction supérieur, une base illustrative permettant d'identifier les vecteurs du processus de désalignement - réalignement (Geels et Schot, 2007) du régime sociotechnique associés à l'émergence de l'AE et d'en proposer un schéma d'interprétation.

Une double lecture institutionnaliste et territoriale, dérivée de la mobilisation de l'approche par les ressources et actifs territoriaux (Colletis et Pecqueur, 1993), nous offre l'opportunité de préciser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions du régime sociotechnique, de même que le rôle situé des acteurs dans l'émergence de l'électromobilité. En appréhendant le territoire comme un espace de ressources potentielles devant être révélées (Colletis, 2010), nous montrons que les ressources et actifs territoriaux, enchâssés dans un cadre institutionnel, favorisent ou entravent l'émergence et la diffusion de l'AE, à travers leur co-maturation avec cette technologie. Nous montrons ainsi que dans certains cas comme la Californie, l'émergence d'une industrie de l'AE se singularise par un marché aux perspectives élargies par le franchissement des frontières sectorielles traditionnelles des industries de réseaux que sont celles de l'énergie, des transports et des télécommunications.

1. Territoire et innovation : une revue de la littérature des approches institutionnalistes.

1.1. La grille de lecture institutionnaliste du territoire.

Parmi d'autres écoles de pensée du territoire en économie, nous avons choisi de nous polariser sur la lecture institutionnaliste pour sa capacité à cerner les dynamiques d'innovation et, particulièrement, les phénomènes à l'œuvre concernant l'électromobilité. A l'instar de Colletis (2010), cette perspective nous semble, en effet, la mieux à même d'analyser les processus de création – et de diffusion – des technologies et de révéler le rôle actif des territoires dans l'émergence de ces dernières. Notre démarche consiste ainsi à croiser les dynamiques territoriales et les dynamiques d'innovation dans un creuset institutionnaliste.

Comme nous l'avons déjà vu, l'économie des territoires favorise un raisonnement qui se situe entre l'échelle microéconomique, celle de l'espace isotrope de la théorie économique standard y compris spatiale, et l'échelle macroéconomique, celle de l'espace à aménager par des actions et des stratégies décidées au niveau national ou international (Duez, 2009). Or, c'est précisément l'appréhension mésoéconomique des dynamiques territoriale et technologique qui permet d'introduire une analyse à la fois plus systémique et moins normative (Ibid.). La perspective institutionnaliste illustre parfaitement cette lecture et permet, à l'appui du territoire, de comprendre nombre d'aspects laissés en suspens par l'économie régionale ou spatiale, tels que les effets de l'histoire et des institutions. Sa valeur ajoutée est ainsi de permettre de « comprendre comment l'économie globale s'enracine, de multiples manières, dans les structures territoriales historiques, comment le global, se nourrit du local en le transformant » (Veltz, 1996, p.11).

Par analogie, l'approche institutionnaliste nous permettra, dans le **Chapitre 2**, d'identifier et d'interpréter comment un bien-système est susceptible de s'enraciner, de multiples manières, dans les structures territoriales historiques et comment il se co-construit avec le territoire. A un niveau d'abstraction supérieur, il s'agira pour nous d'identifier les vecteurs du processus de désalignement - réalignement (Geels et Schot, 2007) associés à l'émergence des nouveaux systèmes sociotechniques et, en particulier, associés à l'émergence de l'AE.

Le territoire, à travers le filtre de la lecture institutionnaliste, peut s'interpréter comme un moyen d'intermédiation soulignant le fait que certains modes d'organisation de la production et des technologies sont façonnés par les contextes socioculturel et historique (Kahn, 2010). Par là, le territoire s'éloigne de la définition classique d'un espace « contenant passif », abstrait et simple réceptacle des activités des firmes, pour prendre les traits d'un espace concret car socialement organisé, producteur de ressources spécifiques et, par conséquent, véritable acteur du développement économique (Bellet, 1992). Pour les économistes « territoriaux », c'est ainsi la contextualité et la texture territoriale qui favorisent ou défavorisent les comportements innovateurs et le mettent en mesure de s'engager dans une dynamique créatrice (Decoster et al., 2004), puisque l'on octroie le statut d'acteur du développement aux organisations socioéconomiques locales et – plus globalement – territoriales, au-delà des entreprises. On s'intéresse alors précisément aux mécanismes de coordination pilotés ou non par ces institutions et à leurs effets sur la performance industrielle au sens large et sur celle des territoires.

En d'autres termes, l'approche institutionnaliste « insiste sur la nécessité de prendre en considération ce qui fait « institution » dans les interactions entre les acteurs, le but étant de mieux décrypter les stimulants et les blocages des processus d'innovation » (Hakmi et Zaoual,

2008, p.18). Pour Pecqueur (2006), c'est ainsi la qualité des relations et la proximité « institutionnelle », qui expliquent le dynamisme d'une région, puisque pour remplir ces objectifs, l'ensemble des organisations socioéconomiques territoriales doivent être réunies autour d'un projet et d'une stratégie commune. Il vient que cette « ouverture sur le contexte d'action des acteurs conduit à un élargissement à la notion de système prenant en compte l'interactivité de l'ensemble des éléments jouant un rôle dans la production et la diffusion des connaissances » (Hakmi et Zaoual, 2008, p.18).

D'après Hakmi et Zaoual, pour qu'un apprentissage inter-organisationnel s'enclenche, il est nécessaire de bénéficier d'un environnement propice. C'est aux institutions formelles et informelles (North, 1990) qu'est dévolu le rôle de façonnage d'un cadre favorable et sur lesquelles s'articule le concept d'institution dans le contexte organisationnel de l'innovation (Abdelmalki et al., 1996). Elles assurent, en effet, tout à la fois une dimension cohésive, c'est-à-dire une certaine stabilité dans le changement, mais également les conditions d'une évolution des routines « territorialisées », nécessaire à la diffusion des innovations majeures et des bien-systèmes territorialisés. En tenant le plus grand compte du rôle ambivalent des institutions formelles et informelles, nous proposons de les définir.

Les institutions informelles se définissent comme des routines, des structures de comportements, des habitudes et des conventions plus ou moins implicites (Morgan, 1997, p.493). Elles font écho aux « institutions-règles » de la typologie de Koleva, Rodet-Kroichvili et Vercueil (2006) et sont constituées par les coutumes, normes, règles, ainsi que les formes de représentations collectives qui modèlent les façons de penser et les formes d'action collectives. Elles exercent essentiellement un rôle cognitif et informationnel visant à homogénéiser les comportements et à garantir le fonctionnement d'un système économique

(Coppin, 2002). En cela, nous verrons qu'elles participent activement à la logique d'alignement des composantes des systèmes sociotechniques, qui contribue décisivement au phénomène de verrouillage sur le régime sociotechnique dominant, *a minima*, à son inertie face au changement. Les institutions informelles sont ainsi garantes du « moment technologique » (ou *technological momentum*), tel que le conçoit Hughes (1991).

Les institutions formelles ont, pour leur part, une existence juridique propre et relèvent des « institutions-acteurs » dans la typologie de Koleva, Rodet-Kroichvili et Vercueil (2006). Elles sont composées d'acteurs de l'administration publique, telles que les organisations gouvernementales, qui ont une fonction cognitive et agissent également structurellement sur les agents économiques, en ce sens qu'elles construisent une trame de mouvements prévisibles stabilisant les relations économiques et sociales du système (Coppin, 2002). Plus précisément, les institutions formelles exercent une médiation entre l'action individuelle et les structures collectives, puisqu'en s'imposant aux individus, les combinaisons juridiques et politiques déterminent un modèle de comportements collectifs, ou encore une structure sociale à travers laquelle se fixent, se développent et s'adaptent les rapports économiques. Leur caractère concret et leur nature moins inertielle que les institutions informelles induisent le fait que les institutions formelles sont en mesure de modifier les lois d'évolution des régimes sociotechniques et, par-là, constituer les vecteurs d'une levée des verrous au changement technologique. Par exemple, la nouvelle conscience écologique des gouvernants, qui se manifeste par le vote de normes de pollution draconiennes, est susceptible d'initier une nouvelle trajectoire de croissance, fondée sur un processus de désalignement-réalignement des composantes des systèmes sociotechniques.

La définition de « règles du jeu », en termes de normes de production et de consommation de biens et de connaissances, présente un caractère normatif ainsi qu'un caractère inductif pour les agents économiques. En produisant de la perspective, les institutions contribuent, en effet, à créer une certaine lisibilité des opportunités, qui fait écho à une forme de déterminisme institutionnel (Coppin, 2002). Aussi, le rôle des institutions consiste généralement à réduire l'incertitude liée aux processus d'innovation, notamment en favorisant l'apprentissage et donc l'adaptation aux changements, en particulier de nature technologique ou sociale. Les instances publiques élargissent ainsi la sphère de lisibilité cognitive en homogénéisant les anticipations et en réduisant les incertitudes du marché. Etant donné leur relative stabilité dans le temps, les institutions accompagnent en fait les agents économiques, soit dans le changement le long d'une même trajectoire, soit dans le basculement d'une trajectoire technologique à une autre (Hakmi et Zaoual, 2008). Les institutions formelles et informelles sont ainsi parties prenantes et motrices dans le processus d'alignement et de désalignement des systèmes sociotechniques au paradigme sociotechnique dominant (Geels et Schot, 2007).

Dans ce champ, nous préciserons plus en avant la nature et l'importance des fonctions régulatrices exercées par l'État, notamment dans la « construction » d'un marché, voire d'une industrie, par les commandes publiques ou les aides financières. Il est néanmoins entendu que l'émergence et la diffusion technologique nécessitent que les routines comportementales et le système productif local réagissent positivement aux influences de l'action publique et parviennent à sécréter de nouvelles ressources alimentant le processus innovateur (Coppin, 2002). Or, cette réaction dépend fortement de la capacité de l'écosystème à intégrer les nouvelles orientations souhaitées par la puissance publique, de sorte qu'à travers le prisme institutionnel, « l'innovation constitue par conséquent un produit indéfectiblement lié à la dynamique de relations systémiques portées par des structures économiques, sociales et

institutionnelles dont le renouvellement est conditionné par les rapports dialectiques entre l'État (et ses administrations) et le(s) marché(s) » (Ibid., p.47).

Dans le prolongement de ces paragraphes abordant la philosophie de l'approche institutionnaliste de l'économie des territoires et des dynamiques technologiques, nous dérivons vers deux modalités complémentaires de prise en compte de l'emprise du territoire sur la technologie. La première envisage les approches en termes d'apprentissages et de création technologique, tandis que la seconde, de nature dynamique, se concentre sur la thématique du processus de territorialisation, en l'associant notamment au cas de la diffusion technologique. Dans ce découpage, nous nous inscrivons dans la pensée de Gilly et Pecqueur (2000), estimant « qu'il est nécessaire de distinguer analytiquement la sphère institutionnelle (gouvernance) et la sphère productive (système productif local) pour penser la dynamique de leurs interactions » (p.138).

1.2. Les approches en termes d'apprentissages et de création technologique.

Au sein de la littérature assimilable aux approches en termes d'apprentissages et de création technologique, il est possible de distinguer deux séries de travaux. Les premiers s'ancrent dans la mouvance des systèmes territorialisés d'innovation et mettent en évidence une proximité essentiellement géographique centrée sur les coopérations et les externalités d'apprentissage. Les seconds composent une approche « proximiste » et s'attachent à saisir les autres formes de proximité à l'œuvre dans les dynamiques de création technologique. Nous verrons que la technologie y est perçue comme « spécifiant » le territoire (Bellet, 1992).

1.2.1. Focalisation sur les systèmes territorialisés d'innovation.

Seuls les systèmes sectoriel (Malerba, 2002.a, b) et technologique (Carlsson et Stankiewicz, 1991 ; Carlsson et al., 2002) d'innovation ont été envisagés, de manière implicite ou explicite, jusqu'à présent dans ce travail. Rappelons qu'ils se situent strictement dans le domaine de l'analyse des mutations techniques et qu'ils regroupent différentes entreprises autour du même artefact technologique, voire d'un même produit, puisant leur source de différents secteurs d'activité, de la sphère académique, ou encore, des consommateurs intermédiaires ou finaux. Désormais, nous mobilisons le concept de système territorialisé d'innovation, lequel connaît plusieurs déclinaisons. On parle ainsi respectivement des systèmes nationaux d'innovation (Lundvall, 1985), assimilables aux « facteurs économiques, sociaux, politiques et organisationnels et autres qui influencent le développement, la diffusion et l'utilisation des innovations » (Edquist, 1997), et des systèmes régionaux d'innovation, par définition plus localisés. Cette échelle nous intéressera tout particulièrement.

Les systèmes territorialisés d'innovation réunissent diverses tentatives d'incorporer des éléments institutionnels dans l'analyse économique du changement technique, en plaçant notamment l'emphasis sur l'architecture des systèmes scientifiques (Amable, 2003). De part leur optique institutionnaliste, le point commun à l'ensemble de ces investigations est de défendre une conception de l'innovation qui est le fait d'acteurs insérés dans diverses institutions et, plus globalement, dans un contexte d'actions. Les systèmes territorialisés d'innovation soulignent ainsi trois dimensions prégnantes du processus innovant. Il s'agit notamment de la question des apprentissages et de la logique réticulaire de mobilisation des acteurs, car le processus innovant s'adosse à des interrelations fortes à partir de groupes d'acteurs hétérogènes, où les relations horizontales de coopérations prédominent sur les

relations verticales de subordination (Richez-Battesti, 2008). Il s'agit également de la dimension territoriale, puisque le processus innovant repose sur des ancrages explicites dans le territoire.

Dans l'approche par les systèmes régionaux d'innovation particulièrement, le territoire n'est pas saisi seulement comme le creuset où se réalisent des interactions entre les parties prenantes de l'innovation, mais plutôt comme un espace actif de leur concertation, coopération et coordination. Il s'appréhende ainsi comme un « mode de régulation » (Ndiaye, 2012, p351) d'acteurs appelés à trouver une solution inédite à un problème qui leur est collectivement posé. En d'autres termes, le territoire se conçoit comme le cerveau qui permet la recherche et le développement de solutions productives (Camagni et Maillat, 2006), puisqu'il constitue le vecteur d'un développement endogène régional.

Les dynamiques d'apprentissage, quant à elles, peuvent se traduire comme la capacité d'un système d'acteur territorialisé à créer et à s'adapter à la nouveauté (Carluer et Le Goff, 2002). Aussi, à partir de connaissances multiples et de compétences tacites ou codifiées, ces acteurs doivent être capables d'améliorer les routines organisationnelles du système auquel ils appartiennent, sur la base d'un « processus proxémique (local et qualitatif), cumulatif (historique) et différencié dans sa forme (spécifique) » (Bellon, 1997, p.94). Plus globalement, durant ce processus d'apprentissage, des rétroactions entre les connaissances des producteurs et celles des utilisateurs favorisent la création de connaissances nouvelles via des logiques de recombinaison et de capitalisation des connaissances internes ou externes au territoire.

Dans une approche systémique, si l'on accepte l'idée que l'innovation se base sur la perception que les innovations sont essentiellement conduites par les multiples acteurs [d'un

territoire] et par les relations que ceux-ci établissent entre eux, alors on est amené à privilégier une analyse en termes de réseaux d'innovation. Au-delà du monde de l'entreprise, ces réseaux impliquent souvent les universités, en tant que producteurs de connaissances ou bien d'intermédiaires dans le transfert de connaissances, des centres de recherche publics et privés, ainsi que les utilisateurs au travers de leur expérience de consommation.

La proximité géographique se pose comme le plus petit dénominateur commun entre le creuset territorial, la question des apprentissages et la logique réticulaire qui sont sous-tendus par les systèmes territorialisés d'innovation. D'un point de vue théorique, la proximité géographique correspond aux « effets externes » des travaux de Marshall (1920), traduisant l'idée que la présence à proximité d'un certain nombre d'entreprises contribue à la diminution du coût de production de chacune d'entre elles, à travers une large gamme de phénomènes non quantifiables et qui témoignent de l'existence de formes de relations non transactionnelles entre les agents. (Zimmermann, 2008).

Dans le cadre dépeint jusque là, c'est la (re)découverte progressive de l'aspect polarisé des activités innovantes, autour d'exemples comme la Silicon Valley ou la Route 128 en Californie, qui a impulsé dans les années 1980 de nombreux travaux qui ont remis au goût du jour d'anciens concepts industriels et spatiaux (DeBresson et Amesse, 1991). Leurs acceptions récentes sont les concepts de cluster, de district technologique, de milieu innovateur, de système local d'innovation, ou encore de « *learning region* » (Florida, 1995). Tous ces concepts, qui constituent des opérateurs pertinents dans la compréhension des dynamiques coopératives et les stratégies des acteurs (Ndiaye, 2012), forment ce que l'on nomme communément les différents types de systèmes productifs locaux (SPL). A partir des travaux de Carlier et Le Goff (2002), il est possible de représenter les différents SPL identifiés dans la

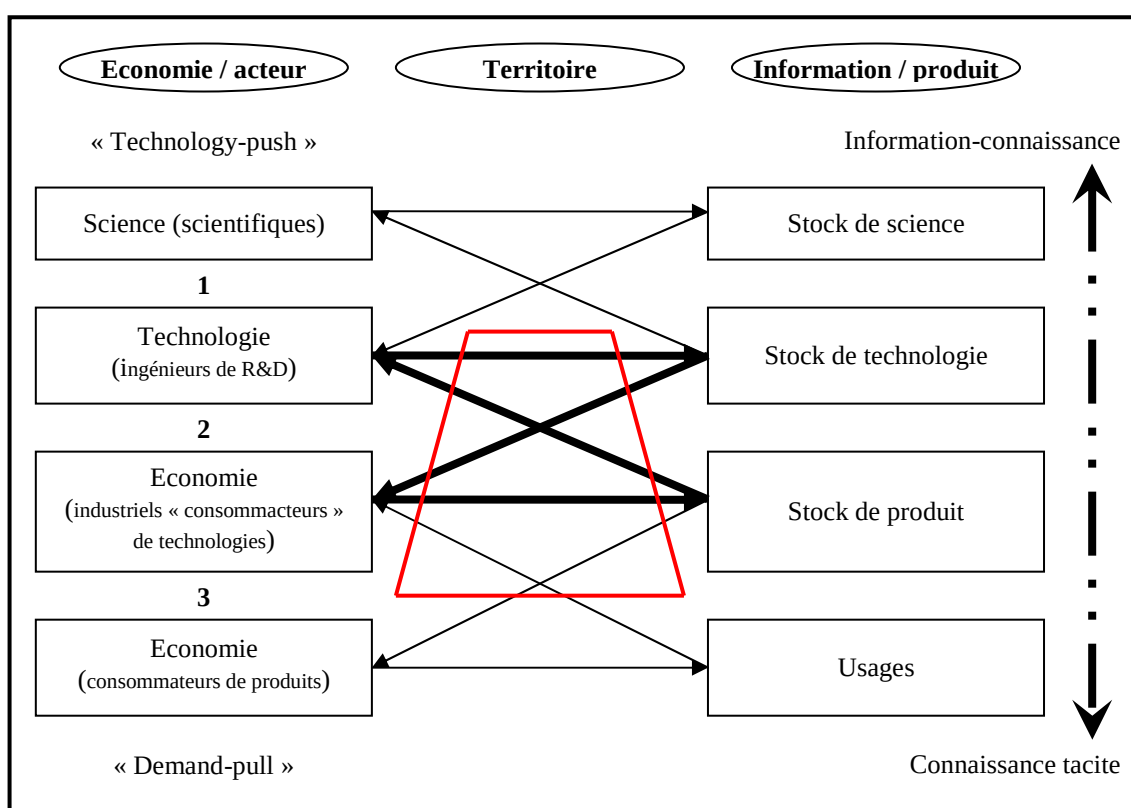
littérature économique. En interrogeant l'impact des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Télécommunication) sur les interactions spatio-économiques, les auteurs entreprennent, en effet, une analyse systématique des SPL à l'aune de la nature des informations échangées et des modes d'apprentissage qui les portent. Nous verrons plus en avant que chacun de ces SPL renvoie probablement à une forme spécifique d'émergence des sous-systèmes techniques constitutifs de l'électromobilité.

Sur la base d'une taxonomie normative des différents SPL, Carluer et Le Goff (2002) proposent ainsi « des représentations synthétiques des liens existants entre les processus d'innovation et d'apprentissage d'une part, et des différents types d'information, en particulier l'arbitrage et le positionnement réalisés entre connaissance tacite et codifiée, au sein du territoire concerné, d'autre part » (p.144). Pour compléter et expliciter leur grille d'analyse, Carluer et Le Goff (2002) appréhendent également la logique d'émergence de l'innovation, distinguée en termes de « *technology-push* » et de « *demand-pull* » (Dosi, 1982). Afin de faciliter le repérage des SPL, l'épaisseur des flèches représente formellement l'intensité des interactions et des flux d'informations échangées, tandis qu'un quadrilatère figure l'espace d'interactions du SPL. L'aire et la forme du quadrilatère soulignent le « centre de gravité » du SPL. Nous proposons de nous concentrer sur les cas du « district industriel », du « milieu innovateur » et sur celui de la « technopole ».

En ce qui concerne le « district industriel », assimilable à un ensemble agrégé de firmes – petites et moyennes – indépendantes et spécialisées dans la même production, Bagnasco et Triglia (1993) soulignent la dimension « contextuelle » des connaissances qu'il secrète. En effet, ces connaissances sont non reproductibles et irrémédiablement ancrées sur le territoire, c'est-à-dire dans un savoir-faire artisanal spécifique et polyvalent. Dans ce cadre, les district

industriels créent notamment de nouveaux procédés, de sorte que l'essentiel des flux informationnels en jeu dans les processus d'apprentissage et d'innovation se situe entre les producteurs de technologies ou de briques technologiques et les industriels, qui intègrent ces *outputs* technologiques dans leur processus de production (**Figure 40** : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des districts industriels).

Figure 40 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des districts industriels :

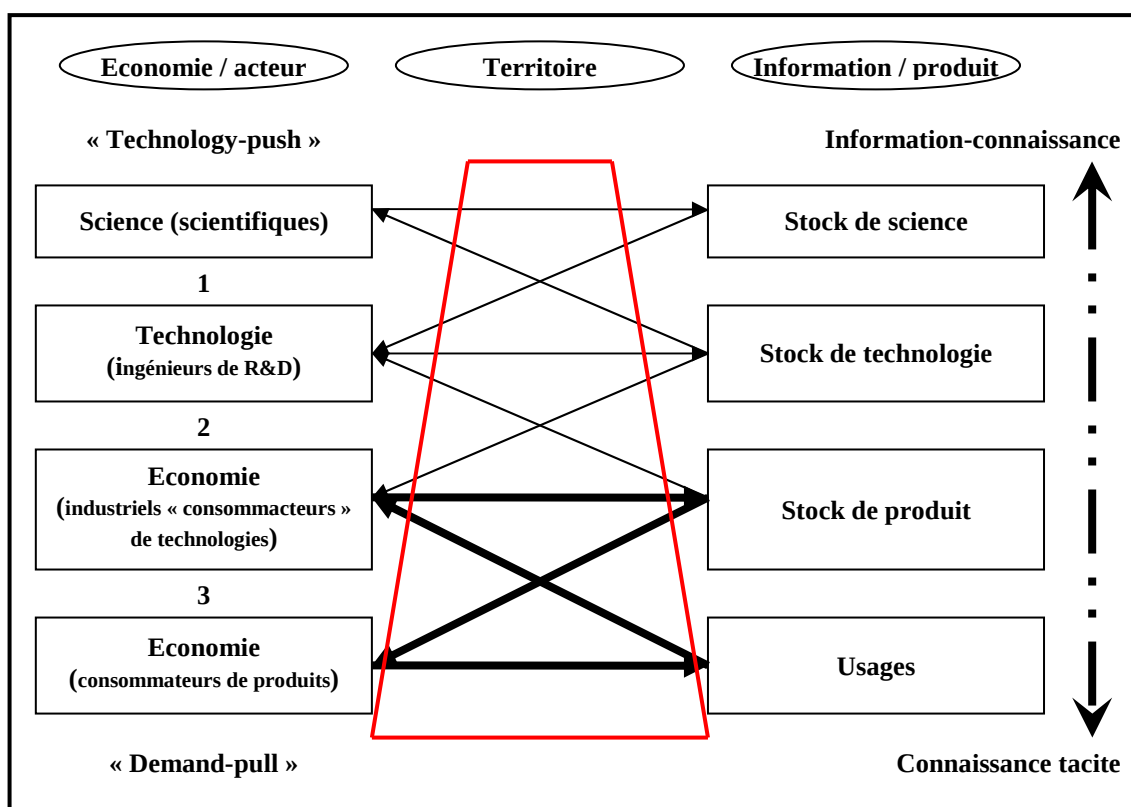


Source : Carluier et Le Goff (2002), p.146.

On retire de Storper (1993), ou encore de Sierra (1997), que les « districts industriels » ont la faculté de se transformer en « milieux innovateurs » grâce à une innovation technologique majeure initiée par le travail des ingénieurs, une ouverture sensible de leur système de production et, corrélativement, par le développement de nouvelles formes d'apprentissage. Le « milieu innovateur » représente « un ensemble territorialisé dans lequel des interactions entre

agents économiques se développent par l'apprentissage qu'ils font des transactions multilatérales génératrices d'externalités spécifiques à l'innovation et par la convergence des apprentissages vers des formes de plus en plus performantes de gestion en commun des ressources » (Maillat, 1994, p.260). Il vient, par-là, que « la nature des biens produits au sein des milieux innovateurs, majoritairement à forte valeur ajoutée, implique que leurs usages sont moins prédéterminés par leurs concepteurs, ce qui entraîne de nombreuses interactions avec les consommateurs finaux » (Carluer et Le Goff, 2002, p.147 - **Figure 41** : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des milieux innovateurs).

Figure 41 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des milieux innovateurs :

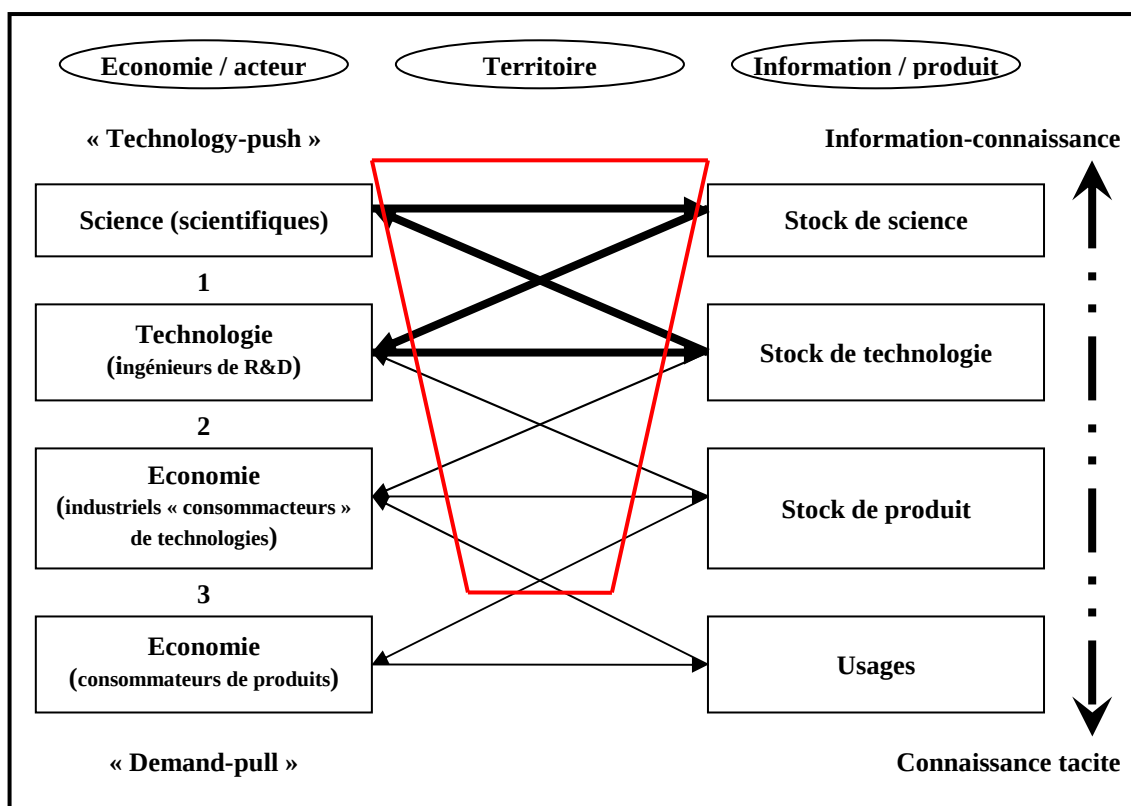


Source : Carluer et Le Goff (2002), p.148.

Parallèlement aux « districts industriels » et aux « milieux innovateurs », les chercheurs identifient une autre forme séminale de SPL, la « technopole ». Foncièrement « scienced-

based », la « technopole » résulte d'une combinaison ponctuelle d'universités, de centres de recherche et d'autres infrastructures scientifiques (Rallet, 1995), qui constituent « les noyaux de nouvelles polarisations spatiales » (Fischer, 1990, p.119). Une expression territorialisée récente de la « technopole », à la philosophie proche est le modèle de la « *triple helix* ». Chacune partage le fait que ce sont les liaisons scientifiques immédiates qui sont principalement mises en valeur, puisqu'il s'agit de lieux où s'élaborent simultanément la production d'intelligence et de savoirs, d'une part, et la production de biens et services intégrant ces intelligences et ces savoirs, d'autre part (Carluer et Le Goff, 2002 - **Figure 42** : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des technopoles).

Figure 42 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des technopoles :



Source : Carluer et Le Goff (2002), p.150.

Bien que chacun de ces SPL fasse intervenir un grand nombre de modes d'apprentissage, ces derniers restent essentiellement associés à une proximité de nature géographique, c'est-à-dire fondée sur les interactions purement locales¹¹⁷. Or, pour un certain nombre de chercheurs, la seule proximité géographique s'avère insuffisante pour expliquer l'existence de systèmes économiques territoriaux et leur dynamisme en matière d'innovation, en particulier si elle n'est pas renvoyée à un système d'appartenance, à une histoire s'incarnant dans des règles et des représentations collectives (Courlet, Pecqueur et Soulage, 1993). Un mode d'appréhension alternatif du rôle du territoire dans le fait innovant et, plus précisément, dans la création technologique, entraîne alors tout à la fois une évolution d'ordre philosophique et de la nature des phénomènes pris en compte. D'une part, dans les SPL, le rôle du local, qu'il soit fondé sur les interactions ou les externalités, est postulé comme un état de fait et demeure par conséquent à l'état de « boîte noire » (Zimmermann, 2008). *A contrario*, les approches « proximistes » approfondissent la question des coordinations, transitant par une approche interactionniste du territoire, devenu un espace construit, organisé et vécu. D'autre part, il est nécessaire d'adjoindre des formes de proximités qui ne soient pas nécessairement d'essence géographique. On mobilisera alors notamment des proximités cognitive, organisationnelle, ou encore, institutionnelle.

1.2.2. Les approches « proximistes », formes alternatives de proximités à l'appui de la création technologique.

Les approches « proximistes », qui se placent à la confluence de l'économie industrielle et de l'économie spatiale, envisagent le territoire à travers une double dimension géographique et

¹¹⁷ La proximité géographique peut se définir comme « la distance kilométrique entre deux entités (individus, organisations, villes, etc.) pondérée par le coût temporel et monétaire de son franchissement » (Torre et Rallet, 2005, p.48).

relationnelle (Torre et Rallet, 2005). Dans cette perspective, le territoire n'est pas postulé, mais au contraire, le résultat situé d'interactions, de conflits, de négociations, de coopérations, de délibérations et de coordinations de différents acteurs parties prenantes (Ndiaye, 2012, p.353). Par-là, « loin d'être seulement compris comme un espace géographico-administratif donné et prédéterminé sur lequel se déroulent des dynamiques spécifiques sous la houlette des autorités locales, il est aussi et surtout le résultat d'un processus de construction et de délimitation par les acteurs qui le vivent et le font vivre » (Ibid.). A partir de cette acception du territoire, nombre de travaux vont chercher à comprendre la conjonction entre espace physique et espace institutionnel. Pour cela, ils initient et décrivent un grand nombre de liens, qualifiés de « proximités », aux natures distinctes, mais complémentaires.

En premier lieu, l'argumentation développée par les tenants de l'approche « proximiste » avance le caractère facultatif de la proximité géographique pour dynamiser les transferts de connaissances et l'innovation et souligne, *a contrario*, le rôle déterminant de la proximité relationnelle comme vecteur de diffusion des connaissances. En effet, dans la mesure où les agents sont considérés comme « situés », c'est-à-dire « non seulement localisés dans l'espace géographique mais aussi positionnés les uns vis-à-vis des autres dans une structure relationnelle non spatialisée » (Hakmi et Zaoual, 2008, p.26), un individu « n'est pas seulement en interaction avec les membres de son site géographique mais aussi avec d'autres individus, avec lesquels ils partagent d'autres types de liens » (Ibid.). Parmi ces liens, on décline traditionnellement les proximités d'ordres cognitif, organisationnel, social et institutionnel ou organisé¹¹⁸, dont la combinaison peut entraîner un climat favorable à l'innovation.

¹¹⁸ Nous ne cherchons pas à être exhaustifs dans l'identification des relations de proximité entre les individus et les institutions, mais à souligner les proximités qui font sens avec l'approche « proximiste ». Par exemple, nous ne traitons pas des proximités financière et marchande.

On retire de Boschma (2005) que la proximité cognitive signifie que des acteurs partagent une base de connaissances et d'expertise commune. Cette superposition leur permet de communiquer, d'apprendre mutuellement et, *in fine*, de créer de nouvelles informations. Ces dernières acquerront le statut de connaissances si elles contribuent positivement au processus territorial de production, notamment en s'appuyant sur une proximité organisationnelle, c'est-à-dire sur la base d'un arrangement entre les organisations d'un territoire et à l'intérieur même des organisations ou institutions du territoire. La proximité organisationnelle s'évalue alors en termes de taux d'autonomie et, inversement, de degré de contrôle exercé, façonnant des positionnements hiérarchiques relatifs à des projets de production, d'innovation, ou de formation (Zimmermann, 2008). Pour sa part, la proximité sociale renvoie à une logique d'encastrement social des relations entre les agents et fait intervenir des considérations liées à la confiance, elle-même basée sur l'amitié, sur des liens de parenté et l'expérience. En cela, elle se distingue de la proximité institutionnelle, assimilable à une série d'habitus, de routines, de pratiques établies, de règles, de valeurs ou de lois, qui régulent les relations et les interactions entre les individus et les groupes (Edquist et Johnson, 1997).

Outre ces formes de proximité, l'approche « proximiste » se structure autour de la, ou plutôt, des proximités organisées, qui en font la singularité et qui relèvent d'une nature et d'un niveau alternatif, dans le sens où elles structurent et « activent » (Torre et Rallet, 2005) les autres types de proximité. Ainsi, Pecqueur et Zimmermann (2004) précisent que la proximité organisée chapote une proximité « organisationnelle », renvoyant aux processus de coordination qui sont fondés sur une interaction directe entre les agents, ainsi qu'une proximité « institutionnelle », renvoyant aux processus de coordination sans interaction directe entre les agents. Plus précisément, la proximité organisée relève d'une approche

interactionniste de la coordination des individus et des organisations par le jeu mutuel de leur évolution dictée par un environnement favorable construit, structuré et organisé.

Si la proximité géographique n'est pas la condition *sine qua non* des transferts de connaissances à l'origine de l'innovation, il convient néanmoins de mentionner que selon l'approche « proximiste », le concept de territoire émerge du croisement entre la proximité géographique et la proximité organisée, puisque cette configuration définit « un dehors et un dedans, délimitant un processus d'auto-renforcement à travers la construction commune de ressources partagées entre les acteurs et favorisant leur ancrage territorial » (Zimmermann, 2008, p.115). Notons que cette acception jure avec celle d'une structure relationnelle non nécessairement spatialisée à la Hakmi et Zaoul (2008), attestant l'existence d'une forme de « *learning by commuting* »¹¹⁹ (Carlier et Le Goff, 2002). L'ancrage territorial est ici justifié par l'objectif de développement des conditions de l'efficacité productive et innovative du territoire partagé par les acteurs, qui sont pour cela orientés par les pouvoirs publics territoriaux et les organisations socioéconomiques locales. Dans ce cadre, la question de la production, de la consolidation et de l'entretien des « ressources territoriales », d'après la terminologie de Pecqueur, non exclusivement marchandes¹²⁰, devient primordiale.

Dans l'approche « proximiste », l'innovation se montre ainsi « poussée par la dynamique de l'espace-territoire » (Gay et Picard, 2001), ce dernier prenant la forme d'un ensemble d'institutions et de ressources avec lesquelles les acteurs œuvrent et interagissent et, se faisant, qu'ils valorisent. Le territoire, de manière plus générique, s'appréhende comme un espace de construction d'actifs spécifiques, dans le cadre de la mise en œuvre d'un

¹¹⁹ Le « *learning by commuting* », ou apprentissage par la connexion multi-modale, est un type d'apprentissage qui s'affranchit partiellement des distances, grâce à l'usage des TIC.

¹²⁰ Les « ressources territoriales », assimilable à la notion de patrimoine territorial, peuvent être de plusieurs ordres, industrielle, historique, agricole, artisanale, paysagère et patrimoniale, matérielle ou immatérielle.

écosystème de l'innovation et de la croissance (Duez, 2009). Nous proposons désormais d'interroger cette assertion qui place l'emphasis sur la dualité du processus dynamique de la territorialisation. Pour cela, nous nous reposerons principalement sur les travaux de Colletis et Pecqueur (1993 ; 2005) qui seront notamment mis à profit pour interpréter l'émergence des systèmes sociotechniques.

1.3. Les approches en termes de dynamique de territorialisation.

Jusqu'à maintenant, les approches par les systèmes territorialisés d'innovation et « proximiste » ont mis l'accent sur les modalités territorialisées de production de l'innovation, sans toutefois préciser réellement le rôle du territoire. Dans un cas, il est, en effet, un creuset plutôt passif de l'innovation, tandis que dans l'autre cas, il acquière une certaine épaisseur. Dans chacune de ces acceptions, si le territoire dispose de la faculté de se reconfigurer et de favoriser un contexte favorable à l'innovation, le lecteur est bien en peine de comprendre quelles sont les étapes et la nature de ces recompositions. En prolongeant la pensée « proximiste », Colletis et Pecqueur s'attachent précisément à saisir la dynamique de territorialisation qui prévaut dans l'émergence de certaines technologies ou innovations, voire des systèmes sociotechniques. A travers ce raisonnement en dynamique, ils ne rendent pas seulement compte des stratégies territoriales de création des technologies, mais apportent également des enseignements sur la problématique de la diffusion des technologies. En outre, ils nous semblent échapper à l'amalgame implicite que véhiculent les approches en termes de systèmes territorialisés d'innovation et « proximiste », pour lesquelles l'innovation semble être l'*output* naturel et quasi mécanique des relations de proximité géographique ou organisée. Nous allons voir que dans les travaux de Colletis et Pecqueur, le processus de territorialisation s'appuie prioritairement sur la valorisation des ressources territoriales et contribue à

l'émergence d'innovations technologiques et sociétales, qui ne transitent pas seulement par l'implantation ou la densification de SPL, mais également sur l'implémentation de dispositifs de concertation, ou encore, de dispositifs de mise en cohérence territoriale (Ndiaye, 2012).

Pour Colletis et Pecqueur (1993), la notion de « rencontre productive » se situe au cœur de la dynamique de territorialisation. Elle se comprend comme « la capacité à apporter des solutions à certains problèmes productifs, voire à susciter, formuler et résoudre un ou des problèmes productifs inédits, et ceci dans un cadre principalement territorial » (Zimmermann, 2008, p.116). La « rencontre productive » peut résulter de l'émergence d'un produit nouveau ou d'une nouvelle application, de même que d'un changement dans l'environnement de production, à l'instar de nouvelles normes environnementales. On retrouve ici la dualité des phénomènes à l'œuvre dans l'émergence de l'AE ou de tout système sociotechnique, qui se trouve à la confluence de la maturation des éléments composants la chaîne de traction électrique, dans une logique de « *technology-push* », et d'une préoccupation écologique de fond, dans une logique de « *demand-pull* ». A l'interface de ces deux forces, l'action cohésive du territoire se matérialise notamment par des normes environnementales « sévèrisées », qui viennent façonner un contexte territorial et orienter le jeu des acteurs.

La « rencontre productive » apparaît ainsi comme un moment-clé du processus de territorialisation, qui se concrétise dans la coproduction de ressources pas nécessairement matérielles ni marchandes, à la base de la construction territoriale. En effet, elle s'enracine dans une dialectique firme – ou plutôt organisations socioéconomiques – et territoire, au carrefour de la théorie régulationniste et de l'économie des proximités (Dupuy, Gilly et Lung, 2007). Dans ce cadre, la grande force des travaux de Pecqueur et Colletis est de considérer que la technologie n'est pas posée au départ, mais définie *ex-post*, comme résultante du

processus de territorialisation. Ce dernier « est entendu précisément comme la capacité d'un environnement donné – milieu, système, économie... – à concevoir et à faire exister des problèmes et des solutions productives, capacité qui dépend des ressources spécifiques qui sont l'expression de cet environnement » (Amendola et Gaffard, 1988, pp.23-24).

Par-là, et nous le soulignons, l'approche de Colletis et Pecqueur n'est pas seulement utile à la compréhension des dynamiques industrielle et de l'innovation, qui ont pour effet de renforcer l'attractivité du territoire en construisant un potentiel industriel et technologique territorial, mais également pour appréhender la capacité d'un territoire à se reconfigurer et à s'adapter pour susciter l'émergence d'une technologie, d'un bien-système, ou d'un système sociotechnique. Cette capacité de recomposition dynamique du territoire a notamment vocation à valoriser les propriétés intrinsèques des technologies en mobilisant les ressources du territoire, qui se met ainsi au diapason. L'action du territoire est ainsi proactive, tout en s'appuyant sur une histoire et des caractéristiques propres qui contraignent les trajectoires et les systèmes sociotechniques accessibles. Il existe ainsi, en d'autres termes et dans une certaine mesure, une « construction sociale » du marché de l'AE, expressément à l'échelle territoriale.

Afin de valider l'assertion précédente, nous proposons de préciser les contours de l'approche par les ressources de Colletis et Pecqueur qui constituera, dans la suite de ce chapitre, une grille de lecture de l'émergence territorialisée d'un système sociotechnique. Nous croiserons alors les multiples éléments de la terminologie de Colletis et Pecqueur à celle de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002). Nous estimons que ce mode d'appréhension d'émergence des innovations vient utilement compléter les approches a-spatiales traditionnelles.

1.3.1. L'approche par les ressources de Colletis et Pecqueur : une typologie en termes d'actifs et de ressources spécifiques et génériques.

La réinterprétation contemporaine de la notion williamsonnienne d'actif spécifique est à l'origine de l'approche de Colletis et Pecqueur, pour lesquels cette notion constitue l'un des fondements d'un véritable modèle de développement territorial. Selon les auteurs, « le principal facteur de différenciation des espaces peut ne résulter ni du prix relatif des facteurs ni des coûts de transport, mais de l'offre potentielle d'actifs ou de ressources spécifiques non susceptibles, par définition, d'être mis en concurrence directement sur un marché » (Colletis et Pecqueur, 1993, p.494). Sous la plume des auteurs, la notion d'actif spécifique se prolonge en approche par les « ressources territoriales » et va donner lieu à une double distinction en termes d'actifs et de ressources, ainsi qu'en termes de facteurs à caractère générique ou spécifique. Nous les explicitons plus avant.

Le premier niveau d'analyse de l'approche par les « ressources territoriales » est de souligner la distinction existant entre les actifs, d'une part, et les ressources, d'autre part. Si par actifs, on fait référence à des facteurs « en activité », les ressources renvoient à des facteurs à exploiter ou à « révéler ». Ces dernières s'éloignent donc des facteurs de production usuels de l'économie standard et qui désignent les ressources entrant comme input dans le processus de production. Ici, « les ressources, à la différence des actifs, constituent une réserve, un potentiel latent ou virtuel qui peut se transformer en actif si les conditions de production ou de création de technologie le permettent » (Colletis et Pecqueur, 2005, p.55). Il y a donc bel et bien un processus de co-construction conditionné entre les technologies et le territoire chez Colletis et Pecqueur. Le second niveau d'analyse, qui se superpose à cette typologie, renvoie

au caractère générique ou, au contraire, spécifique des actifs et ressources du territoire (**Tableau 41** : Typologie et nature des ressources et actifs territoriaux).

Tableau 41 : Typologie et nature des ressources et actifs territoriaux :

Ressources génériques	Actifs génériques	Actifs spécifiques	Ressources spécifiques
Potentielles	Existants et totalement transférables	Existants et à transférabilité partielle	Virtuelles et intransférables
Susceptible d'être activées selon un calcul de rentabilité	Facteurs de localisation discriminés par les prix et le coût du transport (calcul, optimisation)	Relative inertie et coûts irrécouvrables de transfert/coûts de transaction	Les ressources n'apparaissent qu'au moment des combinaisons des stratégies pour résoudre un problème inédit
Susceptibles d'être introduites sur le marché	En marché	Quasi-marché	Coordination hors marché impliquant des institutions, normes, conventions
Matières premières, outils, travail simple, informations, formation de base, non utilisés	Matières premières, outils, travail simple, informations, formation de base, en activité	Travail qualifié, connaissances, équipements spécifiques	« Atmosphère industrielle »
Ressources à révéler sur la base d'actifs génériques	Allocation optimale des facteurs, répartition spatiale des activités	Disjonction fonctionnelle, organisation spatiale des activités, diffusion	Ressources à révéler sur la base des actifs spécifiques, création



Transférabilité décroissante des facteurs / irréversibilité croissante des déterminants des stratégies de gestion de l'espace

Source : Colletis et Pecqueur, 1993, p.497

En première maille, notons que le qualificatif « spécifique » recouvre un ensemble de facteurs dont la production, ou plus communément la valeur d'usage, est liée à un emploi particulier, tandis que la formulation « générique » renvoie vers un ensemble de facteurs traditionnels de définition spatiale des activités économiques discriminées par les prix et qui font l'objet d'un calcul d'optimisation de la part des agents.

Dans le cadre dépeint, les valeur et potentiel des actifs et ressources génériques apparaissent parfaitement indépendantes à l'égard de leur participation à un processus de production ou de

consommation quelconque. Actifs et ressources se trouvent alors totalement dans le marché, si bien que pour les acquérir, il est possible de s'acquitter d'un prix de marché. Ces actifs et ressources sont, en outre, totalement transférables d'un territoire à un autre, mais également mobilisables et activables par une technologie ou par une autre. En d'autres termes, « un facteur générique est indépendant du « génie du lieu » où il est produit » (Colletis et Pecqueur, 2005, p.56), puisqu'il n'existe pour lui pas de contrainte géographique. Du point de vue du changement technologique et des systèmes sociotechniques, les actifs et ressources génériques sont des composantes communes et partagées ou bien suffisamment générales pour ne pas contribuer à la dominance des régimes technologique ou sociotechnique dominants.

A contrario, les ressources et actifs « spécifiques », qu'ils soient respectivement potentiels ou existants, sont vecteurs d'irréversibilité, dans la mesure où ils ont un caractère partiellement hors marché et que leur valeur est fonction des conditions de leur usage. Ainsi, en perdant une partie de sa valeur productive ou d'usage dans le cas où il est redéployé vers un emploi alternatif ou associé à une technologie alternative, un actif spécifique implique un coût irrécouvrable de transfert, assimilable à un « coût de réaffectation ». Pour leur part, les ressources spécifiques, qui n'existent qu'à l'état virtuel, apparaissent seulement au moment de la combinaison concrète des stratégies d'acteurs, lesquels vont mobiliser ces ressources latentes afin de résoudre un problème productif inédit. C'est à partir de ce jeu dynamique et interactif qu'une technologie ou un système sociotechnique est susceptible d'émerger et de se diffuser au support des caractéristiques singulières d'un territoire et de ses acteurs. Du point de vue du changement technologique et des systèmes sociotechniques, les actifs et ressources spécifiques sont des composantes contribuant au phénomène de verrouillage sur les technologies bénéficiant de rendements croissants d'adoption (Arthur, 1989).

Afin de mieux saisir les nuances qui se font jour entre la nature « générique » et « spécifique » des actifs et ressources du territoire, envisageons l'exemple de la main d'œuvre, en précisant qu'une analogie à toute une gamme d'autres facteurs est possible. Une main d'œuvre non qualifiée et « inoccupée », au sens de l'économie de l'emploi et du chômage s'apparentera à une ressource générique du territoire. Une main d'œuvre non qualifiée et employée au sein du bassin d'emploi se classera en tant qu'actif générique. Symétriquement, une main d'œuvre qualifiée à l'égard des besoins exprimés par le territoire, mais « inoccupée » s'apparentera à une ressource spécifique, tandis que cette même main d'œuvre se classera en tant qu'actif spécifique, s'il elle met à profit son savoir-faire dans le cadre d'un processus de production territorialisé.

1.3.2. L'approche par les ressources de Colletis et Pecqueur : une approche de la dynamique technologique en termes de dynamique de territorialisation.

Le second niveau de lecture de l'analyse de Pecqueur et Colletis consiste à construire une représentation de la dynamique technologique, appréhendée au niveau territorial, sur la base d'une analyse en termes d'actifs et de ressources, respectivement génériques et spécifiques. Ce faisant, ils identifient trois modes distincts de « rencontre productive », non exclusifs les uns des autres (Colletis et al., 1997). La « rencontre productive » entre un espace et une technologie (ou une firme), résultant du choix des industriels, mais aussi du jeu des institutions locales et de leur capacité à intervenir dans l'offre de ressources (Pecqueur, 2010), peut revêtir la forme de l'activation de ressources génériques, de la spécification d'actifs, ou encore de la construction territoriale. Nous proposons de définir et d'illustrer chacun de ces processus particuliers, « qui font muter en profondeur la nature même des objets concernés »

(Colletis et Pecqueur, 2005, p.58). Nous nous concentrons par la suite sur les deux premiers modes et étapes de développement.

L'« activation des ressources » génériques, ou la dynamique « d'agglomération » dans la formulation propre à Colletis et Pecqueur, repose sur une logique de localisation. Le territoire se développe par la juxtaposition d'activités, sans que la concentration spatiale des activités ne produise de complémentarités *a priori*. Ce mode est ainsi centré sur la proximité spatiale. Les entreprises implantées y trouvent essentiellement des avantages liés à la concentration des hommes et des activités, se traduisant par une réduction des prix des facteurs de production, tandis que les politiques publiques territoriales concentrent leurs actions sur les incitations fiscales à la localisation et sur l'aménagement d'infrastructures de multiples natures.

La « spécification d'actifs » répond, quant à elle, à une logique d'ancrage territorial. Elle vise à transformer les ressources et actifs génériques en composantes spécifiques, notamment de manière à « produire un bien unique, sans concurrence et inhérent à un seul processus de production » (Pecqueur, 2010, p.300). Contrairement à l'activation des ressources génériques, faisant intervenir les seuls pouvoirs publics territoriaux, la dynamique de spécification des actifs fait appel à l'ensemble de la société locale et des institutions qui concourent à construire des avantages relatifs pour les productions concernées. « Il s'agit donc d'une capacité créatrice du tissu socio-économique qui, en organisant une souplesse de combinaison de ses ressources, dispose des moyens de mettre en oeuvre des stratégies collectives susceptibles d'infléchir le devenir économique du territoire » (Pecqueur, 2010, p.301). Les proximités institutionnelle et organisationnelle sont les caractéristiques fortes de ce mode.

La « construction territoriale », pour sa part, est un produit dérivé de la « spécification d'actifs » et qu'elle « naît de la combinaison d'actifs spécifiques engendrant des ressources spécifiques [nouvelles] non exclusives ou non appropriables » (Colletis et al., 1997, p.128). Elle souligne, en outre, l'idée que « les ressources spécifiques résultent d'une histoire longue, d'une accumulation de mémoire, d'un apprentissage collectif cognitif » (Colletis et Pecqueur, 2005, p.57).

D'un point de vue dynamique, le passage de la ressource générique à l'actif spécifique, ce que l'on appréhende sous le vocable de « processus de territorialisation », correspond ainsi à un processus de développement qui peut se décomposer en deux temps, le passage de la ressource à l'actif (génériques), puis le passage de l'actif générique à l'actif spécifique. Dans cette métamorphose, la ressource en devenant actif est transformée, rappelons-le, par le système de production. Pour Kébir (2004), au stade de la virtualité, si tout peut potentiellement faire ressource, tout ne peut devenir mécaniquement un actif, puisque les conditions de la métamorphose ne se trouvent pas tant dans l'objet, la technologie ou la ressource, mais dans les stratégies d'acteurs au sein du processus de production. Les acteurs sont à considérer au sens large, en intégrant les firmes et les organisations socio-économiques.

Le séquençage opéré entre l'activation et la spécification fait apparaître des notions gigognes. En premier lieu, le processus de territorialisation est aussi une modalité de « révélation » du territoire (Colletis et Pecqueur, 1993), dans le sens où la production et la spécification des ressources résultent de règles, de coutumes et, plus généralement, d'une culture élaborées dans un espace fait de proximités géographiques et institutionnelles, entraînant l'établissement d'échanges non-marchands. C'est donc le territoire, dans toutes ses nuances et dans toute son épaisseur qui façonne ces ressources, qui est « révélé » et co-évolue avec elles. Il vient ainsi

que les ressources territoriales participent de la formulation du problème productif, en même temps que de sa résolution, sur la base d'un « processus heuristique marqué par des tâtonnements et des itérations successives » (Colletis et Pecqueur, 2005, p.57).

En second lieu, cette vision du développement technologique et économique à partir d'un territoire « révélé » souligne l'importance du « contexte » et de la « mise en situation » dans l'activation et la spécification des ressources (Colletis et Pecqueur, 2005). Rappelons, en effet, que l'attribut principal de l'approche par les « ressources » est, en dynamique, leur caractère potentiel, dans la mesure où elles sont activées par des situations de coordination situées dans le temps et dans l'espace. De manière analogue à Lancaster (1991), pour lequel les biens, qui n'apportent aucune satisfaction en tant que tels, s'opposent aux activités, dans lesquelles ces biens constituent des ingrédients, Pecqueur et Colletis avancent que les ressources – et il nous semble que par agrégation, il s'agit aussi du cas des technologies que le territoire abrite – n'apparaissent que dans leur inscription à un cadre d'usage ou de fonctionnement, quelles contribuent à façonner¹²¹. L'enjeu s'avère alors d'identifier les ressources à l'appui desquelles le processus conjoint de construction du territoire et de diffusion de la technologie peut s'opérer.

¹²¹ Dans l'identification des ressources clés du processus de territorialisation des technologies, Pecqueur et Colletis (2005) mobilisent une terminologie en termes de ressources d'allocation et ressources d'autorité (Giddens, 1987), qui complète celle des institutions formelles et informelles. En prenant garde d'éviter toute pollution polysémique, indiquons que les ressources d'allocation sont mobilisées dans les activités proprement dites et que les ressources d'autorité sont mobilisées dans les relations permettant d'intégrer ces activités, décrivant ainsi la capacité de contrôler ou influencer les activités productives et sociales des êtres humains.

2. Territoire, industrie et « bien système » : Généralisation à partir du cas exemplaire de l'émergence d'une industrie de l'automobile électrique en Californie¹²².

En quête de vecteurs de croissance pour sortir d'une crise mondialisée que l'on nomme communément « la crise des *subprimes* », à la fois aiguë et installée avec des effets qui perdurent au sein de très nombreux territoires, à l'échelle nationale ou locale, nombre de firmes industrielles vont orienter leurs efforts d'innovation en priorité vers des technologies, procédés, produits ou services revendiquant une contribution à un « développement durable » à la fin des années 2000. Elles répondent alors à une pression sociétale accrue pour des modes de production et de consommation dits « soutenables ». C'est le cas de certains constructeurs automobiles qui investissent massivement dans l'AE, notamment en écho aux promesses des nouvelles technologies avancées de batteries d'accumulateurs, comme nous l'avons souligné dans la **Partie 1**. Parmi ces constructeurs, si les stratégies industrielles diffèrent (Michaux, 2010), nous montrons que les stratégies commerciales, régies par les limites intrinsèques de l'AE en termes de coût, d'autonomie et de durée de charge, sont le plus souvent induites par les conditions infrastructurelles et réglementaires des marchés ciblés.

Seuls certains territoires semblent – aujourd'hui – éligibles à l'émergence de l'AE, et une proportion encore plus limitée est éligible à l'émergence d'une industrie de l'AE. Parmi ceux-là, la coopération d'industriels, d'universitaires et des pouvoirs publics interpelle sur les atouts spécifiques de la Californie. Ce territoire présente, en effet, les caractéristiques d'un « *Cluster* » de Porter, tel qu'il le définit en 1998 et probablement celles d'une « *Learning Region* » nord-américaine, au sens de Florida (2005). Rappelons que la « *Learning Region* »

¹²² Ce **Chapitre 2** doit beaucoup à l'article Territoire, industrie et « bien système ». Le cas de l'émergence d'une industrie du Véhicule Electrique en Californie, co-écrit avec Richard Le Goff (Bainée et Le Goff, 2012).

offre une infrastructure scientifique et un environnement culturel capables d'engendrer, d'attirer et d'ancrer une « classe créative ». Nous proposons, dès lors, d'étudier l'émergence de l'industrie de l'AE sur ce territoire et depuis ce territoire, afin de mieux comprendre le processus d'émergence territorialisé de l'AE et de mieux saisir les modalités de cet ancrage territorial.

Le rapprochement entre les thématiques des dynamiques économiques et territoriales liées à l'émergence de l'industrie de l'AE est porteur de sens à condition de l'étayer par des statistiques portant sur la Californie et l'industrie de l'AE. C'est précisément ce à quoi nous allons nous employer, en caractérisant, dans le déroulé suivant, l'émergence de cette industrie en Californie. Pour cela, nous nous polarisons sur le rôle des pouvoirs publics et des acteurs privés locaux, dans une démarche empruntant à l'économie territoriale, sans omettre le rôle plus abstrait des institutions informelles prenant notamment l'aspect d'une appétence particulière pour la question écologique de la population californienne. Nous admettrons, dans la lignée des travaux de Colletis et Pecqueur, que le territoire ne constitue pas seulement le creuset des innovations, mais au contraire, qu'il est capable de régir et d'orienter leurs rythmes et formes d'émergence. Cette démarche aura également vocation à rappeler la physionomie et les spécificités de l'écosystème contemporain de l'AE.

2.1. La Californie, creuset de l'émergence d'une industrie de l'automobile électrique.

Interpréter l'émergence de l'industrie de l'AE en Californie et en comprendre la dimension territoriale invitent à replacer cette industrie et ce territoire dans leurs contextes réglementaire et législatif respectifs, y compris dans le temps long, notamment au regard de la nature

normative et inductive des institutions territoriales. Les contextes réglementaires et législatifs façonnent, en effet, une mémoire du territoire, de même qu'ils lui forgent une culture et, par-là, des conditions initiales et des « ressources territoriales » spécifiques. La prise en compte de la problématique de la pollution de l'air est précoce aux États-Unis, où le Congrès américain promulgue lois et amendements sur cette question dès 1955 (**Tableau 42** : Rétrospective des lois sur l'air votées par le Congrès américain – 1955-1990). Néanmoins, une logique territorialisée est rapidement insufflée, puisque l'Etat central délègue successivement la définition, la régulation et la mise en application des normes de pollution de l'air à l'échelon local au cours des années 1960.

Tableau 42 : Rétrospective des lois sur l'air votées par le Congrès américain – 1955-1990 :

Année	Dénomination	Caractéristique
1955	Air Pollution Control Act	Les Etats américains deviennent les principaux acteurs de la prévention et du contrôle de la pollution de l'air
1963	Clean Air Act	Création de l'Agence de Protection de l'Environnement. Elle élabore et applique les réglementations liées à la pollution de l'air
1965	Motor Vehicle Air Pollution Act	Premier amendement au Clean Air Act imposant, à partir de 1968, une réduction drastique des émissions d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone
1966	Clean Air Act Amendements	Première loi fédérale recommandant l'usage de véhicules électriques pour lutter contre la pollution de l'air
1967	Air Quality Act	Les Etats américains disposent de la capacité légale de définir et mettre en application leurs propres normes de pollution de l'air
1970	Clean Air Act Extension	L'essence au plomb doit être éliminée d'ici au milieu des années 1980, Les autorités nationales et locales peuvent consacrer jusqu'à 25 millions de dollars annuels à l'achat de véhicules propres
1977	Clean Air Act Amendments of 1977	Devant la difficulté des Etats à atteindre les objectifs fixés par le Clean Air Act de 1970, ceux-là sont revus à la baisse, notamment pour le secteur automobile
1990	Clean Air Act Amendments of 1990	De nouvelles dispositions entendent réduire la dépendance des importations de pétrole US, en offrant un cadre normatif (niveau d'émissions) et en développant les technologies propres

Source : www.epa.gov

L'ensemble de ces mesures institue un terreau fertile pour l'AE en Californie, notamment en ce qu'il imprime une sensibilité particulière de sa population pour l'écologie. En effet, dès 1967, les pouvoirs publics californiens saisissent les opportunités qui leurs sont accordées en abaissant les seuils d'émissions polluantes automobiles en-deçà de la législation fédérale. En 1990, ceux-là adoptent le règlement *Zero Emission Vehicle* (ZEV), qui marque l'entrée dans une période charnière, en imposant des quotas de production et de commercialisation d'AE aux principaux constructeurs automobiles. Ces quotas sont de 2% de la production à compter de 1998, sous peine de sanctions financières, puis de 5% en 2001 et de 10% en 2003. De la sorte, ils donnent une orientation claire au marché et, plus généralement, aux acteurs du territoire. Nous allons voir qu'à plusieurs titres, la « sévérisation » des normes environnementales décidée à l'échelle territoriale a été un stimulus efficace pour envisager une transition vers l'électromobilité. En d'autres termes, cette logique participe d'un processus de « construction territoriale », dans la terminologie de Colletis et al. (1997).

Dans l'intervalle, le contexte technico-économique devient davantage porteur pour l'AE. En Californie, les industriels ainsi que les laboratoires de recherche publics et privés s'organisent autour de l'objectif commun de développer les batteries de nouvelle génération et d'optimiser l'ensemble des autres éléments techniques composant la chaîne de traction électrique de l'AE. L'*United States Advanced Battery Consortium* (USABC) et le « *Partnership for a new Generation of Vehicles* » (PNGV) sont respectivement lancés en 1992 et en 1993. Ils mettent en évidence les trois caractéristiques des systèmes territorialisés d'innovation, à savoir la question des apprentissages, la logique réticulaire et la dimension territoriale (Larrue 2002 ; 2004), et s'inscrivent dans les promesses d'une nouvelle technologie d'accumulateurs, la batterie au lithium-ion. En outre, la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) crée une nouvelle classe de véhicules en 1998. Ce sont les « *Low Speed*

Vehicle »¹²³, que les autres Etats du pays légalisent progressivement. Bon nombre des industriels proposant ces véhicules se diversifient alors et grossissent les rangs des producteurs d'AE pour les particuliers et les flottes, à destination des collectivités et des entreprises.

Malgré cette conjonction temporelle d'éléments favorables à l'émergence de l'AE, impulsés par les pouvoirs publics territoriaux et relayés par le monde industriel selon des logiques essentiellement territoriales, le règlement ZEV est enterré en 2002, sous les coups de boutoir de lobbyistes, parmi lesquels les grands constructeurs automobiles qui s'étaient pourtant mobilisés pour commercialiser des modèles de voitures écologiques (**Tableau 43** : Véhicules électriques commercialisés en Californie durant la décennie 1990). Pouvoirs publics locaux et nationaux, constructeurs et équipementiers, et laboratoires de recherche publics et privés, auront failli dans le déploiement de l'AE, dans le développement d'une filière disposant d'une taille critique et, plus encore à notre sens, à susciter des effets d'entraînement susceptibles d'attirer de nouveaux acteurs issus d'autres secteurs sur ce marché. Les forces de verrouillage sur les solutions technologiques dominantes ont pris le pas sur la dynamique de « désalignement-réalignement » insufflée par les acteurs du territoire. A maints égards pourtant, cette période marque la genèse d'une phase d'émergence de nouveaux constructeurs qui deviendront, peut-être, les géants de demain.

¹²³ La plupart de ces véhicules sont des « *Neighborhood Electric Vehicle* » (NEV), c'est-à-dire des voiturettes destinées aux déplacements de proximité (golf, plages,...) « émancipées ». L'utilisation de ces AE est fréquemment légalement circonscrite aux routes où la limite de vitesse est de 45 miles par heure (72 km/h).

Tableau 43 : Véhicules électriques commercialisés en Californie durant la décennie 1990 :

Constructeur	Modèle	Commercialisation	Production
Chrysler	TEVan	1993-1995	56 ex.
General Motors	EV1	1996-2001	1.117 ex.
Chevrolet	S-10 EV	1997-2002	500 ex.
Chrysler	EPIC	1997-2002	200 ex.
Honda	EV Plus	1997-1999	300 ex.
Toyota	RAV4 EV	1997-2003	1484 ex.
Ford	Ranger EV	1998-2002	1500 ex.
Nissan	Altran EV	1998-2001	200 ex.

Source : Linde (2010)

2.2. Démographie des firmes : émergence des producteurs d'automobiles électriques aux Etats-Unis (1992-2007).

L'analyse longitudinale de l'émergence des firmes productrices d'AE s'appuie sur le recueil de données de différentes natures¹²⁴, tirant parti du recensement des firmes émergentes ou « jeunes pousses » (Klepper et Graddy, 1990 ; Klepper et Simons, 1997), qui représente l'unité d'analyse, du recensement de leurs formes d'émergence et de l'évaluation de leurs surfaces financières respectives. Ce travail cherche à mettre en évidence d'éventuelles singularités des « jeunes pousses » californiennes, à les comprendre, puis à les interpréter au regard des capacités intrinsèques du territoire à susciter leur émergence. Nous sondons notamment l'existence d'une dynamique d'agglomération des firmes par le biais de « proximités géographiques » et de « proximités organisées » d'« essence relationnelle »

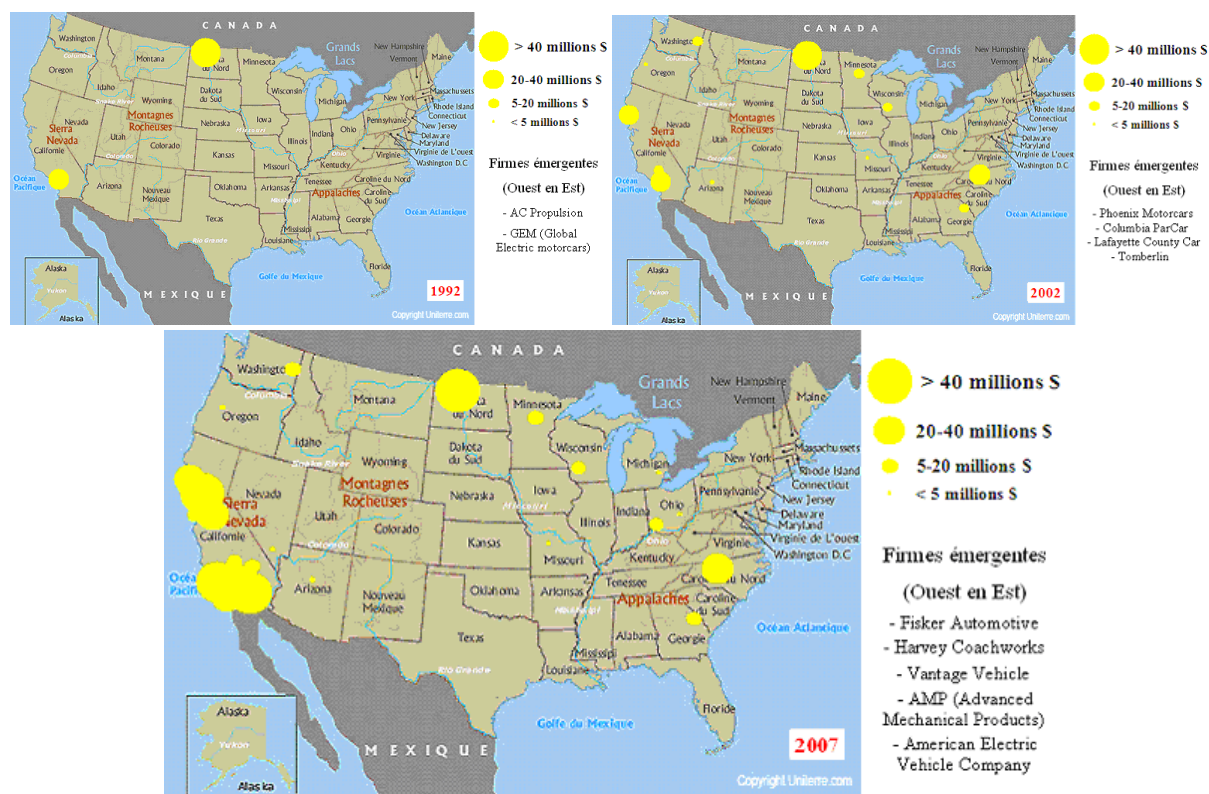
¹²⁴ Les informations obtenues proviennent de diverses sources, comprenant les sites *Internet* institutionnels gouvernementaux (http://www.driveclean.ca.gov/Search_and_Explore/Make_Model_Search.php), la lecture de la presse *Internet* (<http://www.evfinder.com/NEVs.htm>, etc.) et papier spécialisées, la consultation des sites *Internet* des constructeurs, ainsi que la consultation des informations financières et boursières obligatoires.

(Rallet et Torre, 2005) par les pouvoirs publics et, plus globalement, par les acteurs de la « *Learning Region* » nord-américaine que représente la Californie (Florida, 1995).

Un examen des « jeunes pousses » émergeant aux Etats-Unis sur la période considérée (**Figure 43** : Démographie des constructeurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait) ; **Annexe 35** : Démographie des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007, p.587) fait apparaître une somme d'éléments convergents. En premier lieu, si l'année 2002 est paradoxalement celle de l'abandon du règlement ZEV, elle marque pourtant le début d'une phase durant laquelle un nombre substantiel de firmes productrices d'AE émane régulièrement de Californie. Douze entreprises y voient le jour au total, soit près de 50% des effectifs de constructeurs d'AE émergeants durant la période (**Figure 44** : Emergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis et en Californie – 1992-2010), sur les deux métropoles de San Francisco et de Los Angeles. Deuxièmement, les firmes californiennes ont une surface financière – c'est-à-dire un actif net¹²⁵ – s'établissant à près de 45 millions de dollars, tout à la fois plus homogène et trois fois supérieure en moyenne à celles des autres constructeurs américains d'AE (Cf. **Annexe 35**). L'appétence des investisseurs semble y être ainsi supérieure par rapport à d'autres territoires, sur le plan national.

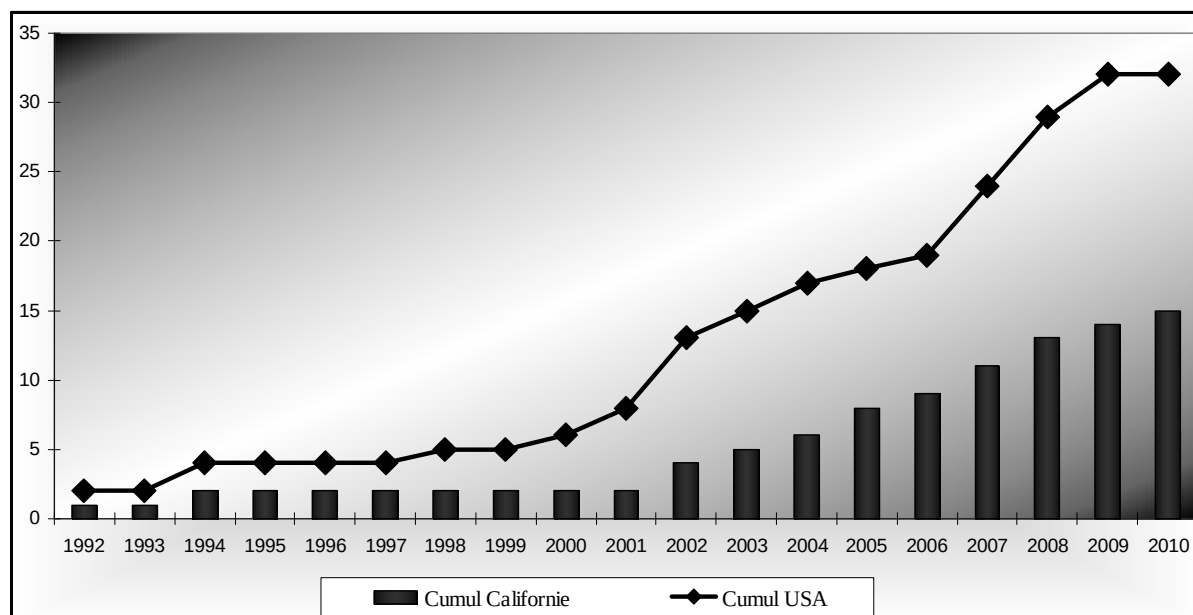
¹²⁵ La notion de « surface financière » fait référence à l'actif net d'une entreprise et à sa capacité à honorer ses engagements financiers (Vernimmen). Afin d'estimer la surface financière des firmes étudiées, nous nous sommes appuyés sur la valeur du chiffre d'affaires annuel, ou sur des proxys du chiffre d'affaires, telles que la valeur des contrats commerciaux remportés et la capacité d'emprunt des firmes au travers des crédits contractés auprès d'établissement bancaires, lorsque ces premières informations n'étaient pas disponibles.

Figure 43 : Démographie des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait) :



Source : Bainée et Le Goff (2012), p.318

Figure 44 : Émergence d'AE aux Etats-Unis et en Californie – 1992-2010 :



Source : Bainée et Le Goff (2012), p.311

Le troisième enseignement concerne la physionomie d'émergence des firmes (**Figure 45** : Forme d'émergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait) ; **Annexe 36** : Forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007, p.590). En partant de la distinction des formes d'émergence des « jeunes pousses », depuis la diversification des activités et jusqu'au *start-up* et *spin-off*, il s'avère que 60% des constructeurs californiens d'AE représentent 85% des *spin-off* du pays. Rappelons que la *spin-off* désigne une scission d'entreprise, ou la création d'une entité indépendante sur la base d'une organisation plus grande. Il existe donc des traits caractéristiques prononcés et propres aux constructeurs de l'AE émergents en Californie. Ce caractère n'a pas été récemment acquis, mais procède d'une culture territoriale singulière et ancrée dans les représentations et les formes d'actions collectives.

Figure 45 : Forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait) :



Source : Bainée et Le Goff (2012), p.319

Comme nous l'avons vu précédemment, l'économie du territoire propose de nombreuses interprétations destinées à la compréhension des dynamiques territoriales. A la lueur de la théorie des « milieux innovateurs » (Aydalot, 1985), qui stipule la capacité des territoires à développer des règles, routines et institutions susceptibles d'influencer leurs propres trajectoires d'évolution, il semble que la Californie est le creuset d'entreprises baignant dans une atmosphère propice aux interactions marchandes et non marchandes. Ces dernières incitent les entreprises à imaginer et à exploiter de nouvelles opportunités d'affaires et permettant, par-là, au territoire de se recomposer selon ses propres lois d'évolution et à partir de ses propres ressources.

De telles lois d'évolution renvoient, d'une part, à la structure réticulaire du territoire, lui garantissant une capacité importante et probablement inédite à organiser des coopérations industrielles, à mobiliser rapidement et massivement des instituts de recherche et des financements provenant d'investisseurs privés (Bahrami, 1992), comme en attestent de multiples « *success stories* » dans des secteurs tels que les biotechnologies et les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Elles renvoient, d'autre part, au fonctionnement du marché du travail, en particulier la mobilité accélérée des chercheurs et des cadres entre les différentes entreprises, qui s'est généralisé et qui a permis l'émergence de nombreuses coopérations indirectes et informelles et la diffusion des connaissances nouvelles, y compris par l'observation des concurrents (Gordon, 1992 ; Rosenthal et Strange, 2004). Tous ces travaux insistent ainsi sur les conditions institutionnelles locales du développement et sur le rôle des acteurs locaux, au-delà des entreprises. Ils mettent ainsi en valeur des institutions de natures formelle et informelle. Nous pouvons parler d'éléments constitutifs d'une « construction territoriale » (Colletis et al., 1997).

En outre, la tendance des industriels à créer des « proximités géographiques », mais aussi des « proximités » complémentaires, particulièrement « organisationnelles », « institutionnelles » et donc « organisées » (Pecqueur et Zimmermann, 2004 ; Rallet et Torre, 1995, 2005), afin de bénéficier d'externalités technologiques et d'un marché des capitaux favorable au lancement et au développement des firmes concernées, est probablement la source du phénomène d'agglomération révélé par nos cartes (Cf. **Annexe 35**, p.587 et **Annexe 36**, p.590). Saxenian (1994) et Lecuyer (2006) l'ont déjà établi pour la Californie dans l'émergence de la Silicon Valley. Finalement, la capacité du territoire à essaimer des *spin-off* ne relève pas non plus d'une philosophie récente, puisqu'elle est à l'origine des deux « clusters » mythiques dans l'histoire des Etats-Unis, la région de Détroit pour l'automobile et la Silicon Valley pour les Semi-conducteurs (Klepper 2010, Moore et Davis 2004). Reproduction organisationnelle et hérité de routines d'ores et déjà confrontées au marché avec succès agissent positivement sur les performances des *spin-off* et en retour, sur celles du territoire, en suivant l'argumentation de Dahl et Reichstein (2006).

2.3. Emergence d'une industrie de l'automobile électrique dans la crise (2007-2010) : le rôle des recompositions macroéconomiques.

D'un point de vue contemporain, le contexte troublé de la crise de 2008, qui se singularise par son caractère tout à la fois conjoncturel et structurel, social et politique, économique et écologique (Cohen, 2009 ; Jullien et Lung, 2011), propulse à nouveau l'AE sur le devant de la scène, encouragée par une recombinaison favorable des dynamiques du capitalisme. A travers la perspective multi-niveaux (Geels, 2002), ces modifications interviennent à une double échelle du régime sociotechnique et de la macrostructure. Rappelons que cette dernière a trait aux aspects les plus inertiels du changement sociotechnique, peu soumis à l'influence directe

des acteurs ou des technologies, tels que l'agencement spatial des villes ou la nature du régime de croissance. Le régime sociotechnique agrège, pour sa part, différents éléments consolidés, à l'image des préférences des utilisateurs, des choix publics ou bien de l'état des connaissances techniques. Sur la base d'une grille de lecture composée d'une première entrée relative à l'origine des stimuli, en provenance du marché ou bien des pouvoirs publics, et d'une seconde entrée d'ordre temporel, il est possible de souligner certains des faits stylisés s'inscrivant dans le processus de « désalignement ».

Parmi les stimuli du marché à destination de l'industrie de l'AE, on note en premier lieu l'accroissement tendanciel du prix du pétrole et de sa volatilité accompagnant la crise des années 2008 et suivantes. Cette tendance est manifeste durant le mois de Janvier 2008, lorsque le prix du baril de Brent atteint 100 dollars, tandis qu'en Juillet 2008, celui-ci atteint un prix de 147 dollars. En outre, la crise économique a obéré, pour partie, la production future de pétrole, en provoquant une baisse drastique des investissements dans l'exploration pétrolière (Alibert, 2009). L'hypothèse relayée par les experts est celle d'un effet de ciseaux lié à l'insuffisance de la production d'hydrocarbures pour répondre à la croissance de la demande anticipée, dont la tendance de fond est principalement imprimée par l'augmentation des besoins énergétiques des économies émergentes. Or, l'éventualité d'un accroissement des prix du pétrole qualifie inexorablement les carburants alternatifs à faible intensité carbone, tels que les biocarburants ou l'électricité à partir de sources énergétiques renouvelables, dont l'apprentissage et le cheminement sur la courbe d'expérience vont eux croissants.

Dans le cadre des stimuli marchands, cette crise énergétique chevauche également d'autres dynamiques. Sur le marché automobile, la saturation des marchés occidentaux traditionnels associée à l'émergence des BRICS induit une croissance de la demande automobile provenant

désormais essentiellement de ces derniers. Signal intéressant, la Chine ravit le titre de premier producteur et de premier marché automobile du Monde aux Etats-Unis en 2008. Le déplacement du centre de gravité mondial des lieux de production et de consommation automobiles produit également une impulsion de nature technologique. Les BRICS ne représentent pas uniquement un nouveau théâtre de la concurrence entre les constructeurs occidentaux et locaux ayant vocation à redistribuer les cartes du jeu concurrentiel, mais peuvent être interprétés à l'aune de leur propension à réorienter les modalités techniques de la concurrence. En effet, conscients de ne pouvoir combler totalement leur retard sur la technologie du moteur thermique, certains de ces pays adoptent des stratégies de contournement. Le Brésil favorise fiscalement le déploiement de véhicules *flex fuel* alimentés en biocarburants¹²⁶, tandis que le gouvernement chinois affiche la volonté de donner naissance à une filière de l'AE et de devenir leader de cette technologie à l'horizon 2020 (TSE, 2010)¹²⁷. Dans la mesure où la Chine façonne en partie le marché automobile de demain, négliger l'AE serait, pour les constructeurs occidentaux, se condamner – dans ce cadre – au déclin.

En interrogeant un modèle de croissance qui repose sur un socle énergétique largement fossile mais également fragile, la crise qui se déclenche à la fin de l'année 2007 marque également un tournant dans l'action des pouvoirs publics, lesquels sont assujettis aux votes d'opinions publiques sensibilisées aux risques liés à l'effet de serre et au changement climatique (Freyssenet, 2011), au-delà des seules frontières californiennes. De fait, le véhicule « décarboné » et défait de sa dépendance au pétrole se situe au carrefour de politiques publiques engageant, des deux côtés de l'Atlantique, des choix de société revus. En Europe,

¹²⁶ Il s'agit principalement de l'éthanol de canne à sucre. Les résultats sont tangibles, puisque 80% des voitures neuves (et 15% du parc roulant) sont équipées de motorisations spécifiques, en partie conçues au Brésil, en 2011.

¹²⁷ Les autorités chinoises actionnent, notamment, un levier réglementaire contraignant les constructeurs étrangers à partager leurs technologies avancées sur l'AE, via la formation de coentreprises avec les acteurs locaux.

les engagements du conseil européen de Décembre 2008 imposent de réduire de 20% les émissions de l'Union d'ici 2020. Or, il fait consensus que ces objectifs seront hors d'atteinte sans agir sur la composante automobile (Postel-Vinay, 2009) ; aux États-Unis, une remise en question analogue s'opère. Lors du Forum des économies majeures sur l'énergie et le climat de Mai 2009, le pays ratifie un accord portant sur la réduction de 5% de ses émissions par rapport à leur niveau de 1997, traduisant une inflexion de la politique suivie jusqu'alors par le premier pollueur de la planète.

Parallèlement, face à l'ampleur de la crise et probablement au précédent représenté par le soutien accordé aux organismes financiers afin de maintenir à flot le système financier, nombre de constructeurs automobiles font appel à la puissance publique. Certains gouvernements réagissent positivement, en particulier pour les investissements jugés porteurs d'avenir. En France, des prêts sont destinés à permettre aux constructeurs hexagonaux de traverser la crise et d'en sortir renforcés par le biais du financement de projets stratégiques tels que le développement de véhicules « propres ». Aux États-Unis, le Plan de Sauvetage de l'industrie automobile avance des contreparties similaires. L'Administration Obama souhaite que l'industrie US s'adapte à la demande pour des véhicules plus vertueux et l'aide pour cela. Dans sa volonté de discipliner les acteurs du marché, la puissance publique opte pour une fiscalité redistributive et coercitive. Outre d'abaisser le prix des innovations en soutenant financièrement la recherche, le principe est de renchérir le prix des technologies obsolètes en vue de peser sur l'arbitrage coût-bénéfice des agents économiques (Galbraith, 2009). Dans le cas des technologies dites « vertes », il s'agit de refléter sur leurs prix le moindre impact environnemental des produits, c'est-à-dire le moindre « contenu carbone ». Le système CAFE

aux Etats-Unis et le principe de la Taxe Européenne répondent à ces mécanismes¹²⁸. 2012 marquera une réévaluation drastique pour l'un et une mise en œuvre opérationnelle pour l'autre.

Par son contexte propice et par la nature et le nombre des réponses politiques qui lui ont été apportées, la période 2008-2010 marque un point d'inflexion dans la politique énergétique et les soubassements industriels de la croissance des pays occidentaux. Stimuli du marché et stimuli publics se nourrissent ainsi mutuellement et se combinent effectivement pour encourager un modèle de développement plus soutenable, transitant par une recomposition des structures économiques, sociales et institutionnelles des économies de marché, y compris à l'échelle des territoires. Ce tournant est-il décisif ? L'AE bénéficiera t-elle de ce contexte favorable ? Dans ce jeu de billard à plusieurs bandes, certains territoires semblent disposer d'une capacité enviable pour constituer des éléments de réponse tangibles. Notre propos est désormais de saisir la manière dont la Californie a su se réinventer pour se mettre au diapason de ces potentialités.

2.4. Emergence d'une industrie de l'automobile électrique dans la crise (2007-2010) : le rôle central des pouvoirs publics californiens.

Aux Etats-Unis, l'Etat de Californie semble jouer le rôle d'organisateur de « proximités », tant pour le système de production du secteur des AE, à partir d'une proximité essentiellement géographique (Rallet et Torre, 2005), que pour la consommation des AE et des services associés. Pour cela, il couple des mesures soutenant l'industrie naissante de l'AE à d'autres

¹²⁸ Le *Corporate Average Fuel Economy* fixe, selon des plans quadriennaux, une moyenne de consommation des véhicules particuliers à laquelle chaque constructeur est assujéti, sous peine d'amendes calculées en fonction des émissions polluantes et des véhicules vendus. La Taxe européenne en reprend le principe, tout en adoptant des objectifs plus stricts, impliquant un recours impératif aux technologies de traction hybride et électrique.

mesures liées aux infrastructures supportant les réseaux électriques, de transport et de télécommunications, avec pour effet de décloisonner ces secteurs traditionnellement intégrés verticalement, selon des modalités que nous avons déjà explicitées dans la **Partie 2**. La Californie stimule vigoureusement l'économie locale au moyen d'une politique volontariste de développement d'un écosystème vertueux comprenant le déploiement de sources d'énergie alternatives, particulièrement éolienne et photovoltaïque, de même que l'établissement d'une filière de l'AE, à travers le *Zero Emission Vehicle (ZEV) Program*, dévoilé en Novembre 2008. Version amendée du programme ZEV de 1990 et doté d'une enveloppe d'un milliard de dollars, ce règlement ambitionne de faire de San Francisco, San Jose et Oakland les « capitales de l'AE aux Etats-Unis ». Dans la terminologie des travaux de Colletis et Pecqueur, le règlement ZEV se rapporte aux processus d'activation des ressources génériques et de spécification des actifs et des ressources territoriaux. Il est composé de quatre mesures principales.

D'une part, la Californie devient le creuset de nombreuses expérimentations d'AE, notamment menées par Nissan ou Mini, dans le but de veiller à la greffe effective et « territorialisée » de l'AE. Les usages et les comportements des consommateurs face à la recharge des AE sont étudiés, tandis que les services dédiés et les modèles d'affaires s'y rattachant sont analysés. L'ambition est d'évaluer le potentiel latent du territoire, c'est-à-dire l'adéquation entre les performances de l'AE ou des systèmes d'électromobilité et les ressources du territoire, en termes de comportements de déplacement des agents ou de production et d'acheminement de l'électricité. Ces expérimentations sont importantes car en Californie, les réseaux électriques possèdent la double caractéristique d'être à la fois vieillissants et le théâtre de pics de consommation très marqués. Cette mention est importante car elle complète les travaux de Pecqueur et Colletis. En effet, cet exemple démontre que la

« rencontre productive » (Dupuy, Gilly et Lung, 2007) et le processus de territorialisation des technologies ne s'enclenchent pas uniquement à partir du potentiel avéré ou latent des actifs et ressources territoriales, mais également sur la base des faiblesses intrinsèques des territoires, dans une forme de « déterminisme des points faibles ».

En effet, comme nous l'avons vu, la juxtaposition des problématiques de l'AE et des réseaux électriques ne va pas de soi. Elle nécessite études approfondies et validations empiriques car il est probable, à terme, que la généralisation des *smart grid* et du protocole *Vehicle-to-Grid* permettra aux AE de stocker l'énergie électrique et, par-là, de contribuer à solutionner les difficultés liées à l'implémentation de l'AE pour le système électrique et l'intermittence de la production de nombre de sources alternatives d'électricité (Barkenbus, 2009). Dans cette acception, l'AE devient une composante des systèmes électrique et énergétique territoriaux. Ce processus s'assimile alors à une dynamique de spécification des actifs territoriaux, puisque les infrastructures énergétiques intermittentes existantes, servent de soubassements techniques justifiant l'émergence de l'AE et façonnant, par-là, les conditions d'une appropriation singulière de la technologie et les conditions d'une diffusion territorialisée de l'AE.

D'autre part, le règlement ZEV vise la création de l'ensemble de l'infrastructure nécessaire au bon fonctionnement des AE¹²⁹, ce que l'on apparente à un principe d'activation des ressources, territoriales. A cette fin, l'Etat de Californie établit des partenariats avec de multiples compagnies d'électricité, telles que *Pervasive* ou *GreenWave Reality*, ainsi qu'avec de nouveaux acteurs du marché, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Ces derniers, situés à l'interface des constructeurs et des usagers, ont notamment pour objectif de mettre une infrastructure de recharge électrique et de gestion de l'autonomie

¹²⁹ Les travaux du GERPISA relatifs à « la seconde révolution automobile » se sont penchés sur le déploiement des infrastructures destinées aux AE, leur intégration fonctionnelle, de même qu'ils ont apporté des éclaircissements sur les modèles d'affaires qui leur sont associés. Voir WALLER (2011) et GARIBALDO (2011), en particulier.

du véhicule à disposition de leurs clients, en particulier grâce au traitement des données de circulation et de production électrique en temps réel. La seule Baie de San Francisco compte, à la fin de l'année 2012, 5.050 bornes de recharge « intelligentes »¹³⁰, grâce au soutien financier du *Bay Area Air Quality Management District*. La mise en place des bornes, particulièrement des bornes intelligentes, procède d'une double logique d'activation des ressources, puis de spécification des actifs territoriaux. En effet, l'enjeu n'est pas seulement l'installation d'une infrastructure de recharge, mais de capitaliser sur les compétences du territoire en termes de savoir-faire informatique et d'inventivité et afin d'apporter de l'intelligence aux bornes et contribuer, là encore, à une émergence territorialisée de l'AE.

Les troisième et quatrième mesures initiées par le règlement ZEV partagent l'objectif d'amorcer la production d'AE en vue de contribuer à lui permettre d'atteindre une taille critique minimale susceptible d'entraîner une baisse drastique des coûts des composants de la chaîne électrique grâce aux économies d'échelle, de gamme et d'envergure. En premier lieu, on assiste à une relance de nature keynésienne de la production par les commandes publiques à l'échelle locale, à l'instar des services municipaux de l'Etat et du Port de Los Angeles. Ensuite, la promotion de l'acquisition d'AE est assurée sous la forme d'un crédit d'impôts d'un montant de 5.000 dollars. Ces mesures soulignent la pertinence d'une lecture institutionnaliste de l'émergence de l'AE, puisque le territoire s'éloigne bel et bien de la définition d'un espace « contenant passif », pour prendre les traits d'un espace concret et véritable acteur du développement économique. La mobilisation des institutions formelles, tels que les services municipaux comme clients et usagers des AE, démontre en outre que l'ensemble des organisations socioéconomiques locales sont réunies autour d'un projet et

¹³⁰ Ces bornes sont munies d'une interface de communication avancée permettant d'émettre de l'information complexe sur un réseau de type *Internet* vers des automates programmables permettant un pilotage à distance.

d'une stratégie commune, condition *sine qua non* de la levée des verrous au changement technologique.

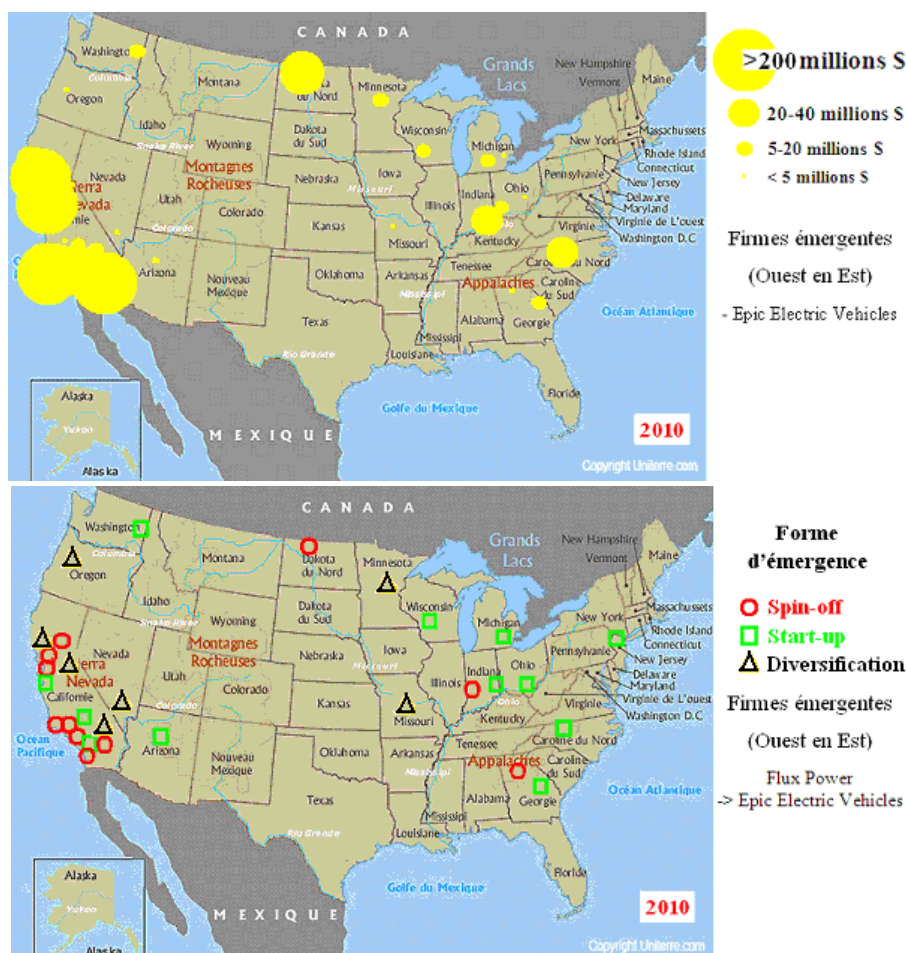
En cela, les dispositifs locaux initiés par l'Etat de Californie prolongent et complètent les mesures de l'administration Obama au plan national, qui décide concomitamment d'un plan de relance massif de l'économie américaine, dont l'industrie automobile en général et les véhicules hybride et électrique en particulier, ont amplement bénéficié. Des prêts sont accordés aux constructeurs traditionnels, à l'image de Ford et de Nissan, afin qu'ils modernisent leurs usines et en adaptent certaines à la production d'AE ou de batteries d'accumulateurs. Les « jeunes pousses californiennes », *Fisker Automotive* et *Tesla Motors* en tête, se voient prêter plusieurs centaines de millions de dollars pour initier ou pour élargir leurs gammes d'AE respectives. L'*American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA – 789 milliards de dollars) est également mis à profit pour la filière AE, sous des modalités distinctes. La recherche et développement sur les batteries de nouvelle génération bénéficie de financements fédéraux à hauteur de 2,4 milliards de dollars. Enfin, le régulateur annonce un durcissement des normes de consommation des véhicules particuliers et utilitaires par le biais du système quadriennal CAFE, à compter de 2012. Celui-ci favorise indirectement l'AE, puisque la méthode de calcul employée revient à presser les constructeurs de faire « glisser » leurs gammes vers des classes de véhicules plus vertueuses (Darbéra, 2002).

2.5. La Californie et l'automobile électrique : vers la définition et l'implémentation d'un système de mobilité électrique intelligent.

A travers le prisme d'une analyse territorialisée, il semble bel et bien que la Californie détonne par la vigueur et par la forme d'émergence de l'industrie de l'AE qu'elle contribue à

initier. La **Figure 46** (Démographie et forme d'émergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis – 2007-2010 (Extrait)) et l'**Annexe 37** (Démographie et forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 2007-2010, p.594) nous permettent de saisir au moins deux faits stylisés relatifs à l'émergence des « jeunes pousses » aux Etats-Unis durant la crise.

Figure 46 : Démographie et forme d'émergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis – 2007-2010 (Extrait) :



Source : Bainée et Le Goff (2012), p.318-319

Premièrement, seuls les constructeurs californiens voient leur surface financière évoluer significativement à la hausse au cours de la période considérée. Cette tendance est imprimée, à parts sensiblement égales, par une ouverture importante du capital des jeunes pousses californiennes aux investisseurs privés, ce qu'avait déjà identifié Stohr (1986), grâce à une

analyse multi-factorielle des déterminants de l'innovation au sein des « Regional Innovation Complexes », et par les effets induits des prêts et avances remboursables fédéraux accordés à l'occasion du plan de relance américain (**Tableau 44** : Rétrospective des investissements privés au bénéfice des jeunes pousses californiennes, 1992-05/2011). Ceux-là se sont, en effet, polarisés sur un faible nombre de constructeurs, exclusivement californiens, ce qui atteste d'une capacité de la Californie à faire émerger des acteurs à fort potentiel.

Tableau 44 : Rétrospective des investissements privés au bénéfice des « jeunes pousses » californiennes, 1992-05/2011, en millions de dollars américains :

Constructeur	Tour de table (date/montant)	Autres types d'investissements	Investissements totaux avant 2008	Investissements totaux après 2008
ZAP		08/2009 (\$25M)		\$25M
Tesla Motors	Series A, 04/04 (\$7,5M)		\$105,5M	\$202,5M
	Series B, 02/05 (\$13M)			
	Series C, 05/06 (\$40M)	09/2009 (\$82,5M)		
	Series D, 05/07 (\$45M)	11/2010 (\$30M)		
	Series E, 02/08 (\$40M)			
	Series F, 05/09 (\$50M)			
Miles Electric Vehicles	Series A, (N.C)	02/2008 (\$15M)	N.C	\$56M
	Series B, 11/08 (\$40M)	12/2009 (\$1M)		
Aptera Motors	Series A, (N.C)	04/2010 (\$9,8M)	N.C	\$33,8M
	Series B, (N.C)			
	Series C, 07/08 (\$24M)			
T3 Motion		05/2011 (\$11,1M)		\$11,1M
Fisker Automotive	Series A, (N.C)			\$489M
	Series B, 01/08 (N.C)	06/2010 (\$189M)		
	Series C, 09/08 (\$65M)	02/2011 (\$150M)		
	Series D, 04/09 (\$85M)			
Coda Automotive	Series A, (N.C)	03/2010 (\$394M)		\$552M
	Series B, 07/09 (\$24M)			
	Series C, 05/10 (\$58M)			
	Series D, 01/11 (\$76M)			

Source : <http://www.crunchbase.com>

Deuxièmement, la lecture des cartes ne permet pas de mettre en évidence une accélération significative du nombre de jeunes pousses au niveau américain. La dynamique de crise contemporaine prolonge au contraire les tendances préexistantes. La Californie confirme sa capacité à faire émerger nombre de spin-off dont la surface financière est plus importante qu'ailleurs aux Etats-Unis. En tout état de cause, la poursuite du rythme antérieur accrédite la thèse suivant laquelle l'émergence de l'AE s'inscrit dans une trajectoire et, en définitive, dans une véritable tendance de fond qui tient à la culture du territoire, se manifestant par des règles de fonctionnement, des normes et des formes d'actions spécifiques, dérivant d'institutions informelles singulières. Il est, en outre, manifeste que le territoire accompagne les agents économiques dans le basculement d'une trajectoire technologique à une autre (Hakmi et Zaoual, 2008). La Californie en est la principale instigatrice et en récolte les fruits, en concentrant 74% des investissements en capital risque liés à l'AE aux Etats-Unis – pour un montant de 469 millions de dollars – et 69% au niveau mondial au cours de l'année 2011 (Next 10, 2011). Ces chiffres font état de la grande capacité de résilience du territoire.

Par ailleurs, la dimension prescriptive de la Californie quant au cadre d'usage de l'AE est prégnante puisque des acteurs majeurs émergent non seulement plus tôt qu'ailleurs, mais également expressément sur ce territoire. A ce titre, l'apparition précoce d'opérateurs de mobilité électrique [en Californie]¹³¹ doit être interprétée au regard de ces singularités. Il s'agit de susciter des actions de nature entrepreneuriale capitalisant sur une stratégie volontariste des pouvoirs publics locaux, mais également sur une dimension réticulaire du territoire. Cette dernière est elle-même appuyée sur des proximités non seulement géographiques, mais organisationnelles, institutionnelles et, en un mot, « organisées » (Torre

¹³¹ Chacun de ces opérateurs, émergeant sous forme de *start-up* (*Better Place*, *Coulomb Technologies*) ou de *spin-off*, (*ECOTALITY*, *AeroVironment*), s'est introduit sur ce nouveau marché en 2007. Fondée sur un investissement initial de 200 millions de dollars, *Better Place* présente, en 2012, un actif s'élevant à 750 millions de dollars.

et Rallet, 2005). En effet, en pariant sur la fertilisation entre des infrastructures de natures routière, télécoms, électrique et énergétique, les opérateurs de mobilité électrique contribuent à transcender des secteurs jusqu'ici cloisonnés. Ils créent, comme nous l'avons vu, un marché qui offre des opportunités de création et de captation de valeur aux industriels qui ont la stratégie – et les moyens – de pénétrer une autre industrie que la leur, mais connexe grâce à l'existence d'infrastructures communes supportant des réseaux de différentes natures¹³². Au même titre que les bornes de recharge intelligentes, l'AE s'envisage comme un bien qui fait système avec les réseaux routiers, énergétiques et télécoms, mais également comme le maillon central d'un système de mobilité électrique intelligent, appréhendé sous le vocable de « modèle multiface », dans la **Partie 2**. Notons que ces propriétés différencient fondamentalement l'AE de son homologue thermique.

Il semble bien que l'industrie de l'AE et celle de la production d'électricité d'origine renouvelable ont été stimulées par la crise économique d'après 2007, et ce, au point d'offrir finalement les conditions d'émergence d'une industrie de l'AE capitalisant sur le décroisement de secteurs entiers. En Californie, dans une logique très keynésienne, des fonds ont été mobilisés par les pouvoirs publics américains, s'ajoutant à ceux des firmes industrielles automobiles et électriques. Ainsi, les pouvoirs publics californiens se sont-ils associés aux industriels du territoire, avec leurs fragilités technico-économiques, à l'image de celles des réseaux électriques, pour permettre la reconversion de l'appareil productif industriel automobile et électrique, dans une physionomie originale, où l'AE et les bornes intelligentes jugulent la surcharge du réseau électrique, voire l'intermittence des sources d'électricité alternatives. Dans cette mesure, les acteurs publics et privés agissant en Californie se donnent

¹³² A ce titre, les interactions nourries entre les programmes SMERC et WINMEC (*SMart grid Energy Research Center and Wireless INternet for the Mobile Enterprise Consortium*) pilotés par le Professeur Rajit GADH (UCLA), les recherches menées sur l'AE par le Stanford University's PEEC (Precourt Energy Efficient Center), l'Electric Power Research Institute (EPRI) à Palo Alto et l'*IBM Research & Battery Group* de l'*Almaden Research Center* à San Jose, attestent d'un décroisement « intersectoriel » stratégique et structuré.

les moyens de réussir collectivement le lancement de produits et de services radicalement innovants par le biais du passage des véhicules thermiques aux AE.

Comme dans « l'économie numérique », l'AE combine initiatives, stratégies et politiques publiques et privées (Bainée et Le Goff, 2012), notamment par le biais de « *proximités organisées* » (Torre et Rallet, 2005). Ces dernières sont bien souvent rendues possibles par la « *proximité géographique* » qui autorise également un travail sur les modes de consommation de l'AE. Les infrastructures de recharge, d'échange de batteries, de parking et de télécommunications participent, avec les services associés et les usages, au développement d'une filière complète de l'AE. Les innovations, radicales et incrémentales, concernent à la fois les produits et les services, ainsi que les modèles économiques et politiques, au niveau de la production, de la commercialisation et de la consommation des AE. Elles impliquent actions et rétroactions à tous les niveaux de la chaîne de valeur en cours de constitution, et sont en rapport avec les potentialités des territoires et les « clusters » de production et de consommation, à l'instar de San Francisco, San Jose, Los Angeles et la Californie plus généralement, depuis la science en passant par la technologie et en allant jusqu'aux marchés intermédiaires et finaux.

2.6. Corollaires et prolongements : transposabilité et généralisation du principe d'émergence territorialisée de l'automobile électrique.

À l'aune de cette étude de cas industrielle et territorialisée, il semble bien que la Californie est le creuset de l'émergence d'une industrie de l'AE qui se singularise tant par sa vigueur, que par sa forme. Nous avons mis en exergue sa vigueur en nous appuyant sur l'analyse démographique des firmes productrices d'AE aux États-Unis et en retraçant les mesures,

passées et contemporaines, initiées par la Californie afin de donner naissance à cette industrie. L'originalité de l'industrie de l'AE émergeant en Californie est liée à la nature systémique de la réponse que le territoire a apporté. En juxtaposant des problématiques portant sur l'AE, sur les réseaux électriques et sur la conception et l'intégration de nouvelles fonctionnalités appuyées sur les TIC, les pouvoirs publics californiens président à la destinée d'un véritable écosystème de l'AE. Celui-ci comprend les bornes de recharge intelligente, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges qui en assurent la gestion et l'AE, qui s'envisage désormais comme le maillon central d'un système de mobilité électrique intelligent fondé sur la fertilisation entre des infrastructures routière, télécoms, électrique et énergétique, dans un cadre intersectoriel. C'est précisément la capacité de la Californie à susciter des actions de nature entrepreneuriale capitalisant sur une stratégie volontariste des pouvoirs publics locaux, encore concrétisée par l'annonce récente de l'Etat de Californie de contraindre les constructeurs à respecter un quota annuel de 15,4 % de voitures propres commercialisées à l'horizon 2025¹³³, mais également sur une dimension réticulaire du territoire, que nous attribuons la précocité, la vigueur et la forme originale de l'émergence contemporaine de l'industrie de l'AE au sein du territoire.

Partant du cas de la Californie, la transposabilité de ce type de politique économique et industrielle dépend grandement de la ferveur et de la capacité du territoire comme cadre institutionnel à soutenir l'AE et à se recomposer en conséquence. Il s'agit en particulier de la capacité des pouvoirs publics à formuler une acception systémique de l'AE et de son industrie, à travers un rôle d'organisateur des proximités, dans une approche cohésive des multiples cultures techniques et sociales du territoire. L'appréhension territorialisée de l'AE,

¹³³ Le 28 Janvier 2012, l'organisme de régulation de la qualité de l'air californien (CARB) a adopté une série de mesures destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre des transports routiers. A cette fin, la loi sur les émissions des véhicules a été renforcée et contraindra les constructeurs à respecter un quota annuel de 15,4% de véhicules à propulsion alternative, électrique, *plug-in* hybride, hydrogène ou pile à combustible (EDF, 2012).

dont le caractère transite surtout par l’ancrage des infrastructures supportant les réseaux routier, électrique, énergétique et de télécommunications, tant en termes de production que de consommation de biens et de services innovants, est alors centrale. L’enjeu est d’envisager l’AE comme une opportunité saisie grâce à une stratégie bâtie autour des actifs et ressources du territoire, ainsi que de ses faiblesses et menaces intrinsèques. Pour cela, il s’agit de veiller à l’enclenchement d’un processus d’activation des ressources génériques, puis un processus de spécification des actifs et des ressources territoriales, pour paraphraser Pecqueur et Colletis.

3. L’approche par les actifs et ressources territoriaux appliquée au cas de l’émergence des systèmes sociotechniques et de l’automobile électrique.

A la suite du cas précédent, qui nous aura permis de mettre en évidence les principes d’une « construction territoriale » prévalant dans l’émergence d’une industrie de l’AE en Californie, nous abordons un niveau d’abstraction supérieur. Cette contribution est charnière puisqu’il s’agit d’identifier les vecteurs du processus de désalignement - réalignement du régime sociotechnique (Geels et Schot, 2007) associés à l’émergence de l’AE et, plus largement, associés à l’émergence de tous nouveaux systèmes sociotechniques. Pour cela, nous structurons nos propos sur l’approche par les ressources et actifs territoriaux, respectivement génériques ou spécifiques (Colletis et Pecqueur, 1993), tout en soulignant le rôle des institutions formelles et informelles. Dans le croisement opéré entre les grilles d’analyse territoriale et « multi-niveaux », au carrefour de la théorie régulationniste et de l’économie du territoire, nous entendons apporter un éclairage original et éloquent. Nous souhaitons également répondre aux critiques formulées par Whitmarsh (2012) sur les difficultés de la perspective multi-niveaux à analyser et à saisir toutes les facettes de l’émergence de systèmes

de transport écologiquement vertueux. En effet, la double lecture institutionnaliste et territoriale nous offre l'opportunité de préciser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions du régime sociotechnique, de même que le rôle « situé » des acteurs et du territoire dans l'émergence de l'AE.

En appréhendant le territoire comme un espace de ressources potentielles devant être révélées (Colletis, 2010), de sorte que les technologies ne sont pas posées au départ, mais définies *ex-post*, nous sommes en mesure de montrer que certains actifs et ressources territoriaux, enchâssés dans un cadre institutionnel, favorisent ou entravent l'émergence et la diffusion de l'AE. Rappelons, en effet, qu'étant donné leur relative stabilité dans le temps, les institutions accompagnent les agents économiques, soit dans le changement le long d'une même trajectoire, soit dans le basculement d'une trajectoire technologique à une autre (Hakmi et Zaoual, 2008). En d'autres termes, les institutions – formelles et informelles – régissent la valorisation des actifs et ressources territoriaux et s'avèrent motrices dans la transition des systèmes sociotechniques appartenant à un régime sociotechnique donné. Notons néanmoins que la valorisation des ressources et actifs doit s'opérer sous une forme cohérente à l'égard des propriétés technologiques des bien-systèmes territorialisés.

D'après une lecture fondée sur l'approche de Colletis et Pecqueur, le régime sociotechnique institué peut se saisir comme celui de ressources et d'actifs territoriaux spécifiques, résultants d'une co-construction, c'est-à-dire d'une co-maturation, entre les technologies et le territoire. Dans ce dialogue se construit le régime d'usage de la technologie et se créent des pesanteurs et des phénomènes de « verrouillage »¹³⁴. La transition des systèmes sociotechniques, concomitante d'un processus de désalignement du régime sociotechnique associé, s'assimile –

¹³⁴ On parle d'un phénomène de « verrouillage technologique » (ou *lock-in*) lorsqu'une unique solution technologique est devenue viable parmi plusieurs options, à l'issue d'un jeu dynamique multifactoriel.

quant à elle - à un « déverrouillage » au sens de l'économie évolutionniste. Le déverrouillage s'inscrit notamment dans la proximité des technologies en concurrence, puisque celle-ci conditionne la transférabilité des actifs et ressources, ainsi que dans la valorisation d'actifs et ressources alternatifs, dans une nouvelle « histoire » entre le territoire et la technologie « challenger ». C'est précisément de cette nouvelle « alchimie », adossée à des facteurs de réaligement spécifiques, structurée autour de systèmes d'électromobilité distincts pour le cas de l'AE, que se façonnent de nouveaux systèmes et régime sociotechniques. Pour comprendre l'émergence et la diffusion de l'AE, il faut ainsi interpréter la remise en cause des actifs et ressources du territoire spécifiques à la technologie dominante, le véhicule thermique usuel, ainsi qu'identifier les actifs et ressources du territoire que l'AE va exploiter, spécifier, et, finalement, révéler.

3.1. Le phénomène d'alignement. Le processus de verrouillage sur un système sociotechnique.

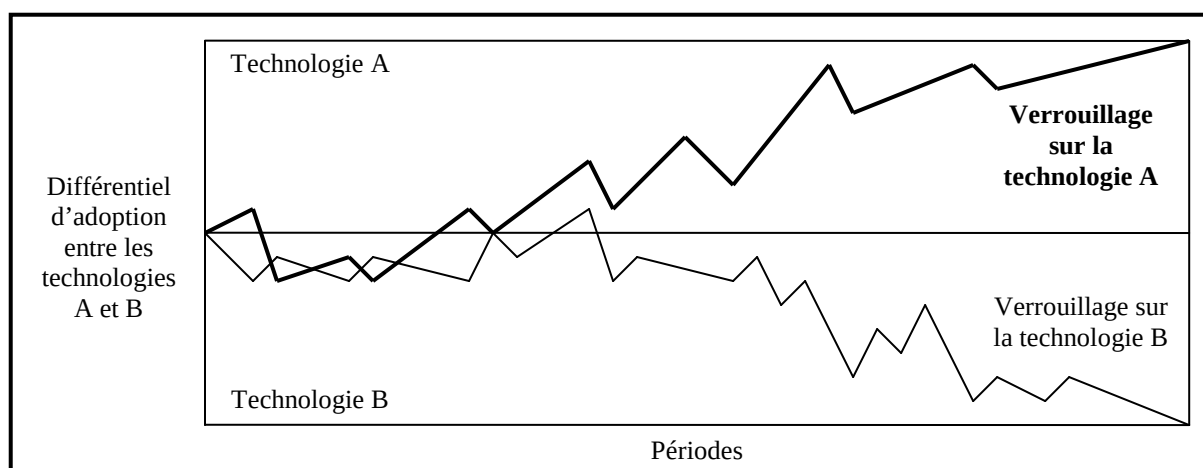
Au regard du cas Californien, il est apparu que durant les années 1990-2000, les forces de verrouillage sur la solution technologique dominante en termes de motorisation automobile a pris le pas sur la dynamique de « désalignement-réaligement » insufflée par les acteurs du territoire, désireux de promouvoir l'électromobilité. Cette assertion souligne l'importance des conditions du basculement des systèmes sociotechniques. De telles conditions se forment dans la nébuleuse du régime sociotechnique qui amalgame un ensemble intégré de composantes politiques, scientifiques, technologiques, ou encore culturelles, façonnant de multiples systèmes sociotechniques. Ces derniers prennent la forme de systèmes de transport, de systèmes énergétique ou de systèmes de communication et se singularisent par une interdépendance aux propriétés auto-renforçantes. En effet, leurs liens se créent, se

reproduisent et s'affinent dans le temps, tandis que les systèmes, eux-mêmes, s'adaptent au gré de leur évolution respective. A l'appui de ces interactions, se nouent des situations de verrouillage technologique, aux natures multiples.

Pour cerner ces verrous et, par-là, comprendre les conditions de leur levée, le phylum évolutionniste apporte un éclairage singulier et révèle nombre de phénomènes. En particulier, les modèles fondés sur le principe des « rétroactions positives », tels que les modèles de « rendements croissants d'adoption » (Katz et Shapiro, 1985), énoncent essentiellement les conditions dans lesquelles une situation de monopole technologique peut apparaître au terme d'une compétition technologique. Ces derniers rendent compte de situations dans lesquelles l'utilité associée à l'adoption d'un standard [technologique] croît avec son degré de diffusion. Dans cette veine, Arthur, Ermoliev et Kaniovski (1987) ont montré que la diffusion d'une technologie soumise à un tel processus cumulatif et le système qui la sous-tend ne peuvent plus sortir d'un bassin d'attraction correspondant à la situation d'équilibre final vers lequel ils tendent (**Figure 47** : Emergence d'une situation de verrouillage technologique)¹³⁵. On parle alors d'un processus dépendant du sentier.

¹³⁵ Remarquons que ce modèle et son prolongement (Arthur, 1989) ont été attaqués, les critiques portant sur leur caractère déterministe et irréaliste (Dalle, 1995). D'une part, il existe parfois des niches technologiques, à l'instar de la technologie vidéo VHS n'a jamais supplanté la technologie concurrente Betamax chez les professionnels de l'image. D'autre part, le modèle rend impossible la situation dans laquelle un agent (libre) ferait le choix de la technologie dominée, ou « inférieure », dans la terminologie évolutionniste. Or, un agent peut parfaitement faire le choix conscient d'adopter une technologie inférieure à certains égards, et non à d'autres. Les biens et services sont, en effet, une collection de propriétés et de fonctionnalités qui conviennent ou rebutent les consommateurs.

Figure 47 : Emergence d'une situation de verrouillage technologique :



Source : Arthur 1989, p.120

Pour Liebowitz et Margolis (1995), il est possible de représenter cette dynamique par le biais d'une séquence de choix binomiaux fondée sur le processus de Pólya-Eggenberger (Eggenberger et Polya, 1923), lequel postule qu'à un instant « t », le choix entre un nombre fini et connu d'alternatives est influencé par la distribution des choix précédemment effectués entre ces mêmes alternatives. Aussi, la distribution des choix antérieurs ne détermine pas automatiquement le choix à venir, mais indique la probabilité que chacune des alternatives soit retenue (Lequeux 2002). Il apparaît alors que la diffusion technologique obéit à un processus dynamique d'auto-renforcement dont le moteur réside dans l'action même d'adopter, si bien que l'« on ne choisit pas une technologie parce qu'elle est plus efficace, mais c'est parce qu'on la choisit qu'elle devient plus efficace » (Foray 1989).

Au-delà de saisir les conditions dans lesquelles une situation de monopole technologique peut apparaître et se maintenir, l'approche évolutionniste permet de comprendre quelle est la nature et l'importance des facteurs de verrouillage sur la solution technique ou le système sociotechnique dominant. A cet égard, il convient de distinguer les facteurs de verrouillage renvoyant au rôle prégnant du territoire et ceux tenant plutôt à d'autres considérations.

Parmi les éléments d'explication alternatifs au territoire, certains facteurs de verrouillage incombent aux propriétés spécifiques des bien-systèmes, dans la logique des externalités positives de réseaux (Cf. **Partie 2**). D'après celle-ci, la valeur [d'usage] d'une technologie dépend de la taille du réseau des adoptants, puisque chaque adoption va venir augmenter la valeur de la technologie des primo-adoptants (ou *early adopters*), augmenter sa valeur pour les adoptants à un instant « t » et augmenter l'attractivité de la technologie pour les futurs adopteurs. La logique des externalités positives de réseaux puise notamment sa source dans un « effet système » lié au fait que la technologie la plus diffusée incite au développement de biens et services complémentaires, qui maximisent ainsi les chances de succès de la technologie à laquelle ils s'articulent. Si ces facteurs de verrouillages incombent aux propriétés spécifiques des bien-systèmes, leurs conséquences et leur concrétisation sont souvent éminemment territorialisées. En particulier, les biens et services complémentaires que suscitent les bien-systèmes peuvent prendre la forme de réseaux d'infrastructure en termes de stations essence et de réseaux de réparateurs, dont les savoir-faire et le capital matériel sont très spécifiques et dédiés à une technologie. Les conséquences pour le territoire peuvent être significatives. En 1980, Hamilton (1980) estimait que la substitution du véhicule thermique par son homologue électrique provoquerait la reconversion ou la disparition de plus de trois millions d'emplois aux États-Unis.

D'autres phénomènes de pure dynamique économique s'adosent à ces effets de bien-systèmes, tels que les économies d'échelle (Metcalfe, 1988), l'effet de localisation du progrès technique, ou encore les externalités informationnelles. L'effet de localisation du progrès technique stipule que la technologie dont la vitesse de diffusion initiale est la plus forte va concentrer les efforts de recherche et développement en vue de son amélioration, car elle renvoie au plus grand marché potentiel et, par là, générera les revenus les plus conséquents.

Les externalités informationnelles, pour leur part, induisent le fait que la technologie dont la vitesse de diffusion initiale est la plus forte va maximiser sa visibilité. Finalement, en puisant dans la théorie des ressources (Wernerfelt, 1984 ; Barney, 1991), les comportements stratégiques des firmes s'avèrent significatifs, non seulement dans le déroulement du processus de standardisation (Garud et Karnoe, 2001), mais également dans le phénomène de verrouillage technologique, puisque les compétences et savoir-faire des firmes, notamment les constructeurs automobiles, peuvent se transformer en rigidités (Leonard-Barton, 1992 ; Tushman et Anderson, 1986).

Parmi les facteurs de verrouillage soulignant le rôle prégnant du territoire, le « *learning by using* » est prégnant. Ce concept insiste sur le fait que plus un bien (ou un service) est adopté, plus il est expérimenté, et plus il est amélioré dans son design, ses propriétés et sa technologie car, d'une part, l'utilisateur apprend de l'utilisation qu'il fait des biens et, d'autre part, les choix des usagers orientent les industriels. Plus performant et plus en phase avec les attentes et besoins des consommateurs, le bien – système ou non – tend à renforcer graduellement son « degré d'adoptabilité » et sa diffusion. Pour l'AE, ce « dégrossissement » porte sur les systèmes d'électromobilité identifiés (Cf. **Partie 2**) et se manifeste notamment par la commercialisation de modèles spécifiques par leur propriété d'usage¹³⁶. Au-delà du rôle des usagers, les choix formulés par les territoires concourent également à façonner la nature et à la forme du verrouillage technologique¹³⁷.

La création de normes d'évaluation avancée par Foray (1989) est également un argument de verrouillage technologique, dans la mesure où une technologie ancienne a produit ses propres

¹³⁶ Nous songeons ici à la Bolloré Bluecar, spécifiquement conçue pour l'autopartage et optimisée en conséquence, ou la Citroën Berlingo by Venturi, étudiée pour préserver la capacité de chargement du véhicule et permettre la distribution du courrier par la Poste française.

¹³⁷ Notons que le principe du *Vehicle-to-Grid* (V2G) a été initié au début des années 2000, en Californie, par le constructeur AC Propulsion, une ancienne *spin-off* de General Motors (Emadi, 2005).

normes d'évaluation, définissant les critères de comparaison par référence à ses avantages intrinsèques. Ce phénomène est significatif pour le véhicule à moteur thermique, au rayon d'action beaucoup plus favorable que celui de l'AE. Néanmoins, cet effet ne joue objectivement pas tant sur la comparaison intrinsèque des technologies, que de manière indirecte, sur le fait que les performances du véhicule thermique ont été, avec le temps, concrétisées et inscrites territorialement, dans les usages, dans les représentations collectives et dans l'organisation spatiale des territoires. En effet, les territoires du XX^{ème} siècle ont été dessinés par la voiture thermique [individuelle] et ses infrastructures, suivant des trajectoires propres, depuis le « tout voiture » aux Etats-Unis et jusqu'au couplage de l'automobile et des transports en commun à l'européenne. La technologie se montre, en quelque sorte, endogénéisée, puisque le processus de « verrouillage » transite par la co-construction de ressources et actifs, alors spécifiés, qui favorisent l'ancrage territorial de la technologie.

La question du basculement sur un nouveau système sociotechnique butte ainsi sur des difficultés aux sources multiples, dont le dénominateur commun est de verrouiller les choix sur une technologie faisant système avec les actifs et ressources [spécifiques] du territoire. Pour autant, la levée de ces verrous peut, par exemple, s'envisager à partir d'une forme de patrimoine territorial, comme le souligne le cas contemporain de la Californie. Pour tenter de comprendre quelles sont les conditions du basculement sur un système sociotechnique alternatif, c'est-à-dire le phénomène de désalignement dynamique des composantes du régime sociotechnique institué, nous prolongeons la lecture en termes d'actifs et de ressources territoriaux (Colletis et Pecqueur, 1993). Après avoir identifié les facteurs de verrouillage, nous analysons désormais les facteurs de déverrouillage, ce qui nous conduit, dans un premier temps, à raisonner à rebours de l'appréhension usuelle de l'activation des ressources et de la spécification des actifs. Il s'agira alors d'appréhender le phénomène de désalignement.

3.2. Le phénomène de désalignement. Le processus de déverrouillage d'un système sociotechnique.

Pour identifier les facteurs de désalignement du régime sociotechnique et les facteurs de déverrouillage du système sociotechnique associé au véhicule thermique, nous fondons nos propos sur la distinction formulée entre les actifs et les ressources génériques et spécifiques (Colletis et Pecqueur, 1993). Rappelons que les actifs et les ressources génériques apparaissent, dans un cadre général, comme des composantes – concrètes ou potentielles – transférables d'un territoire à un autre, puisqu'ils ne procèdent pas de la singularité d'un territoire.

Par analogie, du point de vue du changement technologique et des systèmes sociotechniques, nous avons estimé que les actifs et ressources génériques sont mobilisables et activables par des technologies distinctes. A l'égard des technologies, les actifs et ressources génériques sont ainsi communs et partagés, ou bien suffisamment génériques du territoire pour ne pas favoriser *ex nihilo* la dominance d'un système sociotechnique par rapport à un système alternatif. Cette propriété nous permet de définir le phénomène de désalignement du régime sociotechnique comme une phase de « normalisation » ou de « généricisation » des actifs et des ressources dans un creuset territorial. Cette assertion signifie que le caractère générique des actifs et ressources conditionne, dans une certaine mesure, la trajectoire d'un système sociotechnique et la dynamique d'un régime sociotechnique.

Au sens de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002), le phénomène de désalignement des composantes du régimes sociotechnique est assimilable à une « fenêtre d'opportunité », c'est-à-dire une reconfiguration du régime technologique qui n'est pas uniquement d'ordre

technologique, mais intervient sur des dimensions plus larges, telles que la réglementation, les infrastructures, la signification symbolique et les réseaux industriels. Notre appréhension systémique de l'AE et de son émergence nous incite à privilégier une lecture territorialisée du phénomène de désalignement.

La phase de « normalisation » des actifs et des ressources emprunte, selon nous, deux voies distinctes (**Tableau 45** : La phase de « normalisation » : point de vue synthétique). La première, statique de prime abord, correspond à des « conditions de base » similaires auxquels sont soumis [identiquement] deux technologies et, conséquemment, deux systèmes sociotechniques concurrents. Nous préciserons ces conditions plus en avant. La seconde, d'essence dynamique, repose sur la remise en cause partielle du système sociotechnique dominant, provenant de tensions d'ordre macrostructurel ou à l'échelle du régime sociotechnique. Cette déstabilisation du système dominant contribue alors à homogénéiser les points de forces et de faiblesses respectifs des technologies en concurrence, dont les potentiels tendent ainsi à s'équilibrer dans un contexte mouvant. Cette « remise à plat » peut ainsi être favorable au maintien, sous une forme contrariée, du système sociotechnique dominant¹³⁸ ou favoriser un basculement de la dominance vers un système sociotechnique distinct. On appréhendera cette voie de « normalisation », probablement propre au cas de l'électromobilité, sous le vocable de « déspecification des actifs ».

¹³⁸ Concrètement, le maintien sous une forme contrariée du système sociotechnique dominant peut consister en la régénération d'un *dominant design*, dérivé de la redéfinition de certains paramètres de conception, donnant lieu à une nouvelle vague d'innovations de produits (Abernathy et al., 1983). Cette dynamique s'inscrit également dans ce que Clark (1983) appelle la dé-maturité.

Tableau 45 : La phase de « normalisation » : point de vue synthétique :

	Phase de « normalisation »			
Nature	Conditions de base		Déspécification des actifs	
Origine	Emergence d'un soubassement technologique alternatif pour un système sociotechnique donné		Déstabilisation d'un système sociotechnique dominant	
Modalité(s) d'appréhension	Actifs et ressources territoriaux			
			Institutions formelles et informelles	
Modalités	Ressources	Actifs	Macrostructure	Régime sociotechnique
Exemples	Motif / cadre spatial des déplacements	Structure du parc immobilier / infras énergétiques	Désindustrialisation	Sources d'énergie renouvelables

Source : Représentation de l'auteur

La première contribution à la phase de « normalisation » des actifs et des ressources territoriaux correspond à des « conditions de base » identiques auxquels sont soumis deux systèmes sociotechniques concurrents. En d'autres termes, il s'agit d'actifs et de ressources partagés et, à ce titre, identiquement « activables » et « spécifiables » par deux technologies ou par deux bien-systèmes concurrents qui se superposent partiellement. Si la dimension dynamique n'apparaît pas explicitement, elle est néanmoins présente, puisque cette situation découle, par définition, de l'émergence d'une technologie alternative. Sur l'exemple de l'AE, la technologie alternative est engendrée de manière endogène par des stimuli provenant du régime sociotechnique, notamment en termes de connaissances scientifiques (Cf. **Partie 1**). En outre, nous pouvons identifier les conditions de base communes à l'AE et à son homologue thermique par l'intermédiaire des systèmes d'électromobilité définis précédemment (Cf. **Partie 2**), puisque ceux-là constituent des niches de marché sur lesquelles l'AE et le véhicule thermique se trouvent en concurrence frontale.

Les « conditions de base » communes aux véhicules thermiques et électriques, qui sont identiquement « activables » par deux technologies concurrentes, sont territorialisés, au sens

où elles participent de la singularité du territoire. Pour autant, elles sont partagées par les technologies. On distingue alors les ressources, qui ont principalement trait à la nature des déplacements opérés et celle des acteurs. Dans le premier cas, il s'agit notamment de la connaissance *ex-ante* et du caractère répétitif des parcours effectués, du motif (loisirs, pendulaires, professionnels), ou encore du cadre spatial (urbain, périurbain, extra-urbain) des déplacements. Dans le second cas, il s'agit de la nature des acteurs (particuliers et organisations publiques ou privées), de leur pouvoir d'achat, de même que du niveau d'équipement en automobile des ménages. Symétriquement, on distingue les actifs territoriaux identiquement « spécifiables » par deux technologies concurrentes. Ils sont relatifs à la structure du parc immobilier, dans sa composition en habitats individuels ou collectifs, de même qu'aux infrastructures routières, énergétiques et de télécommunications, sous la double dimension de leur densité et de leur maillage du territoire.

La seconde contribution à la phase de « normalisation » des actifs et des ressources repose sur la remise en cause partielle d'un système sociotechnique dominant, sur l'autel d'une « désépécification des actifs », entraînant un phénomène de déverrouillage technologique. Les tensions, à l'échelle de la macrostructure ou du régime sociotechnique, prennent des formes variées, comme peut le souligner notre analyse du cas californien d'émergence de l'AE. Afin de débrouiller ces phénomènes souvent intriqués et qui assurent chacun un rôle dans le processus de désalignement du régime sociotechnique et dans la transition des systèmes sociotechniques, nous couplons une grille en termes d'institutions formelles et informelles à la lecture par les actifs et les ressources. Nous allons notamment montrer qu'à l'échelle des régimes sociotechniques, les pouvoirs publics locaux et nationaux transcrivent formellement nombre de tendances qui se dessinent au niveau de la macrostructure. Le caractère structurel, social et écologique de la crise économique contemporaine réoriente, en effet, sensiblement

les trajectoires empruntées par la plupart des économies, déstabilisant le système sociotechnique dominant et favorisant une « remise à plat » des points de forces et de faiblesses respectifs des technologies en concurrence.

La recomposition des dynamiques du capitalisme est, selon nous, à l'origine de tensions issues de la macrostructure qui infusent directement ou indirectement le régime sociotechnique et fragilise le système sociotechnique dominant. Ainsi, le déplacement du centre de gravité mondial des lieux de production et de consommation automobiles invite les pouvoirs publics issus des économies les plus matures à se mobiliser pour éviter la survenue ou limiter l'ampleur d'une désindustrialisation. Notons que dans un épisode de désindustrialisation, la déspécification des actifs se double d'une désactivation de ces derniers. En produisant une impulsion de nature technologique, qui favorise les investissements des industriels dans les technologies de motorisation vertueuses, l'intervention des pouvoirs publics a contribué à limiter la prégnance des compétences et des savoir-faire traditionnels des acteurs de la filière du véhicule thermique. Toutefois, c'est essentiellement en interrogeant un modèle de croissance qui repose sur un socle énergétique largement fossile et, à ce titre, précaire, que la crise uniformise les potentiels respectifs des technologies en concurrence. Outre d'inviter à reconsidérer un bouquet énergétique jusque-là friand de ressources non renouvelables, cette situation contribue, en effet, à sensibiliser les opinions publiques aux risques liés à l'effet de serre et au changement climatique (Freyssenet, 2011). La pression sociétale, d'abord vaporeuse et informelle, va s'enchaîner dans des institutions formelles et gagner le régime et le système sociotechniques.

Le processus d'institutionnalisation identifié transite principalement par deux voies. D'une part, certaines associations, lobbyistes et autres leaders d'opinion se font les porte-voix des

préférences des consommateurs pour des modes de production et de consommation plus vertueux. D'autre part, les pouvoirs publics, assujettis aux votes d'opinions publiques marquées par des représentations et des valeurs collectives renouvelées, vont poursuivre ou imprimer les tendances impulsées au niveau macrostructurel. Dans sa volonté d'orienter les acteurs industriels du marché, fortement tributaires des facteurs de verrouillage identifiés auparavant, la puissance publique interroge l'arsenal législatif à sa disposition et opte – parfois – pour une batterie de mesures, incluant des réglementations sur les normes environnementales pour réguler la pollution de l'air, ou imposant des quotas de production et de commercialisation d'AE et recourant, pour cela, à une fiscalité redistributive et coercitive. Notons que la réglementation vise également à favoriser la diffusion des sources énergétiques renouvelables, en réponse à la raréfaction progressive des ressources énergétiques fossiles contribuant à l'accroissement tendanciel du prix du pétrole et de sa volatilité.

L'articulation existant entre les tensions provenant de la macrostructure et les recombinaisons qui s'en suivent sur le régime sociotechnique institué et sur le système sociotechnique dominant apparaît désormais plus clairement. Rappelons que ces tensions participent de la phase de « normalisation » par une action désépiciante, voire désactivante, sur les actifs territoriaux, ainsi que par la transcription d'institutions informelles en institutions formelles. Désordonnées et immanentes, ces actions convergent néanmoins pour homogénéiser les potentiels respectifs des technologies en concurrence et favoriser, par-là, le maintien du système sociotechnique dominant sous une forme contrariée, ou bien le basculement de la dominance sur un système sociotechnique fondamentalement renouvelé.

Appréhendé par le biais d'une lecture en termes d'actifs et de ressources territoriales, le phénomène de désalignement du régime sociotechnique est assimilable à une phase de

« normalisation » des actifs et ressources territoriales. Cette dynamique est le corollaire d'une concomitance entre la remise en cause partielle d'un système sociotechnique dominant et l'émergence d'une technologie concurrente susceptible de structurer un système sociotechnique alternatif. Dans ce cadre, les actifs et ressources génériques – ou rendus génériques – sont cruciaux pour la physionomie adoptée par un régime sociotechnique, puisque c'est la capacité de l'une ou de l'autre des technologies concurrentes à activer, spécifier et donc à valoriser ces actifs et ressources – dans une phase de réalignement des composantes du régime sociotechnique – qui engendre la révision ou le bouleversement d'un système sociotechnique. Le territoire, consubstantiel des actifs et des ressources, apparaît ainsi cardinal dans l'émergence de l'AE, mais également dans la diffusion de l'AE, en ce qu'il détermine l'activation et la spécification des ressources et actifs. Nous proposons d'analyser le phénomène de réalignement.

3.3. Le phénomène de réalignement. Transition et reverrouillage des systèmes sociotechniques.

Afin de saisir le processus d'émergence des systèmes sociotechniques, plus précisément le processus de transition d'un système fondé sur le véhicule thermique à un système articulé autour de l'AE, nous avons séquencé notre interprétation, en faisant apparaître les phénomènes d'alignement, puis de désalignement des composantes associées à un régime sociotechnique. Si le phénomène d'alignement met en lumière la portée des effets de verrouillage pesant sur les systèmes sociotechniques, le phénomène de désalignement, qui transite par une phase de normalisation des actifs et ressources dans une acception territorialisée, identifie les conditions favorables au basculement vers un système sociotechnique alternatif. Pour compléter notre analyse du processus de transition des

systèmes sociotechniques, nous abordons désormais le phénomène de réalignement, véritable courroie de transmission entre la problématique de l'émergence et la problématique de la diffusion des bien-systèmes territorialisés. Nous allons voir que le phénomène de réalignement s'apparente à un épisode de consolidation tâtonnant et inertiel des composantes du régime sociotechnique, marqué par le basculement ou non vers un système sociotechnique alternatif.

Au contraire du phénomène de désalignement, qui s'appuyait sur une dynamique de normalisation ou de « généricisation » des actifs et des ressources territoriales, le phénomène de réalignement s'opère à partir d'une double dynamique d'activation des ressources et de spécification des actifs. Rappelons que pour Colletis et Pecqueur, l'« activation de ressources génériques » repose sur une logique de juxtaposition d'activités, sans que la concentration spatiale ne produise de complémentarités *a priori*. Dans ce cadre, les politiques publiques territoriales concentrent notamment leurs actions sur l'aménagement d'infrastructures de multiples natures. La « spécification d'actifs » répond, quant à elle, à une logique d'ancrage territorial. Elle vise à produire un bien unique et inhérent à un processus de production spécifique (Pecqueur, 2010), par le concours et la coordination de l'ensemble des institutions locales, dans le cadre d'une stratégie collective. En cela, le processus de spécification d'actifs fait écho à une « capacité créatrice du tissu socio-économique » (Pecqueur, 2010, p.301).

Pour les besoins de notre analogie au cas de la transition des systèmes sociotechniques, nous adaptons ces définitions à notre contexte. L'activation renvoie ainsi à la mobilisation effective de ressources génériques du territoire dans un processus de consommation ou de production, tandis que la spécification évoque une valorisation « territorialisée » des actifs. Ces actifs sont façonnés par le territoire et pour le territoire, en dialogue avec les propriétés et potentiels de

chacune des technologies en concurrence, si bien que la valorisation des actifs se montre intimement liée à leurs conditions d'usage. Nous allons voir que les processus d'activation et de spécification des ressources et des actifs territoriaux constituent une grille d'analyse et une clé de lecture avantageuses de l'émergence et de la diffusion de l'AE. En effet, bien que le territoire – entendu comme cadre institutionnel – soit traversé par des forces multiples, les stratégies collectives locales, sont bien souvent les instigatrices de l'électromobilité.

Précisons que certaines mesures de politique publique ne relèvent pas de l'activation des ressources ou de la spécification des actifs du territoire. Ces mesures incitatives sont relatives aux commandes publiques d'AE, à la politique de quotas sur la commercialisation des AE, voire aux subventions en faveur des particuliers, entreprises ou administrations qui se portent acquéreurs d'AE. Si leur participation au processus de « construction territoriale » est évidente, en composant les ingrédients d'une atmosphère favorable, ces mesures ne s'adaptent ni ne valorisent les ressources et actifs territoriaux, condition *sine qua non* de la dynamique de réaligement des composantes du régime technologique sur les points de force de l'AE, à notre sens. La thèse que nous avançons est, en effet, que l'émergence et la diffusion de l'électromobilité reposent sur une coordination *ex-ante* ou *ex-nihilo* de l'ensemble des parties prenantes, usagers, industriels et pouvoirs publics, autour d'un projet ou d'une stratégie commune de déploiement de l'AE.

Le « parti-pris » de ce travail est de considérer que la dynamique de réaligement en faveur de l'AE s'envisage à l'échelle territoriale, puisque, dans le cas des biens-systèmes territorialisés, c'est précisément à ce niveau que « la dynamique institutionnelle interagit avec le changement technologique » (Colletis et Perrin, 1995, p.256). En effet, l'occurrence d'un tel apprentissage inter-organisationnel puise sa source dans l'activation des ressources et dans la spécification

des actifs, dont le territoire constitue le creuset. Au-delà d'un rôle passif de contenant, rappelons que le territoire joue un rôle d'agent actif de la dynamique territoriale et qu'à ce titre, il apparaît « apte à élargir le spectre des combinatoires productives potentielles » (Colletis et al., 1997, p.130). A cette fin, les institutions formelles, sous des formes variées et parfois originales, vont être les leviers privilégiés pour créer et mûrir un environnement propice. Pour étayer nos arguments, nous proposons d'introduire une série d'exemples précisant la logique successive d'activation et de spécification des ressources et actifs territoriaux.

Dans une logique de juxtaposition des activités transitant par l'aménagement d'infrastructures de multiples natures, à la Colletis et Pecqueur (1993), l'activation des actifs territoriaux peut consister en la mise en place d'une infrastructure de recharge pour AE. Sur cette base, une forme de spécification territoriale des actifs se manifeste notamment par l'émergence de services novateurs nés de la superposition de réseaux en couches successives, particulièrement les infrastructures de charge et les réseaux routiers et télécoms. Les bornes connectées – dites « intelligentes » et qui parsèment l'Etat de Californie aux Etats-Unis (Cf. **Partie 2**) – sont ainsi susceptibles d'être réservées à distance ou d'indiquer en temps réel leur disponibilité, grâce à un croisement technologique territorialisé. Les mécanismes prévalant dans une optique de spécification des actifs ne s'appliquent pas uniquement à l'intelligence des bornes *stricto sensu*, mais également aux modalités de recharge des AE, dont la forme est spécifiée – d'amont en aval – par les propriétés du territoire. Cette spécification se concrétise dans la modulation des recharges en fonction des sources énergétiques renouvelables disponibles, des déplacements des usagers et du niveau de charge individuel de leurs véhicules. Il s'agit précisément du système mis en place par l'opérateur de mobilité électrique Better Place en Israël, à partir d'une vision macroscopique de la problématique (Cf. **Partie 2**).

Une autre expression du processus de spécification de l'infrastructure de recharge pour AE s'appuie le choix des technologies de bornes de recharge. Outre la problématique de la standardisation des prises¹³⁹, l'enjeu est ici d'ajuster la puissance des bornes, conditionnant le temps nécessaire à la recharge de l'AE, aux temporalités et à la structuration du territoire. Une technologie de recharge « lente » est suffisante au domicile d'un particulier ou dans l'enceinte d'une entreprise pour permettre de recharger une AE durant les six à huit heures de la nuit ; l'appel de puissance sera plus conséquent, si la technologie de la batterie et le réseau électrique l'acceptent, en fonction de la nature des temps sociaux, en permettant notamment la recharge partielle ou complète d'une AE durant le temps de présence dans un commerce d'appoint (boulangerie, etc.) ou dans un centre commercial. La qualification de l'AE en tant que bien-système territorialisé prend alors tout son sens, à l'instar du système d'échange de batteries dont bénéficient certains taxis électriques opérant entre Amsterdam et l'aéroport International Schiphol, aux Pays-Bas. La transition vers un système sociotechnique structuré autour de l'AE s'envisage ainsi à travers le maillage adapté du réseau de recharge aux temporalités, à l'agencement et la structuration du territoire¹⁴⁰.

La performance des systèmes d'électromobilité est intriquée dans le territoire à l'échelle administrative, géographique et même à celle des territoires « vécus » (Frémont, 1976), ce qui nécessite la présence de dispositifs de remontée informationnelle sur les usages automobiles et sur les déplacements, plus généralement. Au tamis de la grille de lecture de Pecqueur et Colletis, les dispositifs planificateurs des mobilités et des temps des personnes et des marchandises, s'ancrent dans une logique d'activation des ressources du territoire. Ces

¹³⁹ La question de la standardisation des prises de recharge invite à reconsidérer notre appréhension essentiellement locale du territoire. Elle s'applique, en effet, à une acception davantage nationale ou continentale du territoire, soulignant par-là une limite de la lecture en termes de spécification des actifs territoriaux.

¹⁴⁰ Si le « plan national pour le développement des véhicule électriques et hybrides rechargeables », adopté en France en Octobre 2009, précise que « les équipements [de recharge] devront permettre un rechargement dans des situations diverses grâce à des installations de recharge très différentes, adaptées à tous les véhicules du marché », il vise essentiellement le déploiement d'un million de points de recharge en 2015, calculé sur une base « abstraite » de 2,2 prises par véhicule mis en circulation (Michaux, 2010, p.6).

modalités de coopération territoriale relèvent d'institutions formelles, tels que les « bureaux des temps », se concrétisent en France sous la forme des Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT) et de leurs dérivés¹⁴¹, ou bien s'inscrivent dans une Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE) et se déclinent alors sous la forme de Plans de Déplacements Entreprise (PDE) et de Plans de Déplacements Inter-Entreprises (PDIE). L'implication de la société locale et l'exploitation des données font écho, pour leur part, à une démarche de spécification des actifs. Cette étape est cruciale car elle précipite, accompagne et accommode le processus de réaligement des composantes du régime sociotechnique aux propriétés intrinsèques des technologies, malgré la nature inertielle de l'agencement spatial des territoires.

Contrairement à l'activation des ressources génériques, faisant essentiellement intervenir les pouvoirs publics territoriaux, la dynamique de spécification des actifs canalise l'ensemble de la société locale et des institutions, dans le cadre d'un dialogue territorial qui concourt à façonner les mobilités des acteurs. Par-là, la spécification des actifs crée des opportunités pour l'AE, car elle engendre des points d'appui focaux pour les systèmes d'électromobilité. Il s'agit là d'une capacité endogène du territoire à organiser une souplesse de combinaison de ses ressources susceptible d'infléchir les soubassements technologiques sur lesquels il se bâtit. A ce titre, la région Poitou-Charentes, en France, s'est notamment engagée dans la promotion et le déploiement de la mobilité électrique via la création de la société publique locale « régionlib », gérant un service d'auto-partage électrique à l'échelle du territoire. Cette société propose ses services aux entreprises et aux collectivités, afin de favoriser une gestion et une coordination inter-organisationnelle des temps professionnels et privés, en étroite

¹⁴¹ Le SCOT est, en France, un document d'urbanisme qui détermine – à l'échelle de plusieurs communes – un projet de territoire visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques relatives à l'urbanisme, l'habitat, les déplacements et les équipements commerciaux. Il chapote les Plans de Déplacements Urbains (PDU), lesquels déterminent l'organisation du transport des personnes et des marchandises, ainsi que les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), qui régissent la planification de l'urbanisme à l'échelle communale.

correspondance avec les structures territoriales¹⁴². La formule privilégiée par « régionlib » est de mettre à disposition d'entreprises (EDF) et d'administrations (conseils généraux des Deux-Sèvres et de la Vienne) des AE, sous la forme d'un forfait de mobilité annuel. Pour un montant dérisoire, leurs salariés peuvent, en outre, parcourir un trajet privé pendulaire quotidien de l'ordre de cinquante kilomètres. Finalement, au-delà des frontières françaises, le cas des pactes de mobilité à l'italienne est également éclairant pour la capacité de ces derniers à agréger différentes strates d'acteurs autour des districts industriels, sur la base d'une continuité spatiale, temporelle et politique des problématiques de conciliation.

La dernière modalité de valorisation des ressources et actifs du territoire que nous exposons repose sur l'activation des ressources territoriales en termes de vent et d'ensoleillement transitant par la mise en place de réseaux énergétiques basés sur des sources renouvelables éolienne et photovoltaïque. Comme nous l'avons déjà vu, la juxtaposition des problématiques de l'AE et des réseaux électriques ne va pas de soi et nécessite études approfondies et validations empiriques. Dans l'exemple californien nous montrions, en effet, que les pouvoirs publics se sont associés aux industriels du territoire pour apporter une solution à la fragilité technico-économique des réseaux électriques, en envisageant un système original, dans lequel l'AE juggle la surcharge du réseau électrique et l'intermittence des sources d'électricité alternatives¹⁴³. Ce cas souligne la singularité de la dynamique de spécification de ce type d'actifs, fondée sur le principe déclinable¹⁴⁴ d'un « déterminisme des points faibles » et

¹⁴² Les AE utilisés dans ce système, également articulé à la mise en place d'une infrastructure de recharge, sont conçus et fabriqués par le constructeur Heuliez, dans son fief situé dans le département des Deux-Sèvres.

¹⁴³ En détails, la régulation du marché de l'énergie mise en place par *California Public Utilities Commission* (CPUC) implique, par exemple, que les revenus des énergéticiens ne sont pas fonction de la quantité d'énergie vendue (), mais de l'atteinte d'objectifs renégociés chaque année. Ce mécanisme est dit « découplé » (Saada, 2011). Notons que cette même commission (CPUC) interdit la vente de services liés à la recharge des AE aux énergéticiens, impliquant l'émergence d'un marché dérégulé des opérateurs de charge d'AE (Ibid.).

¹⁴⁴ La problématique de la fragilité des réseaux électriques impliquant des interfaces de stockage se retrouve en Bretagne, pour la France. Une autre expression d'un déterminisme des points faibles provient d'Israël, où le pari d'un vaste programme de développement de l'électromobilité, dès 2008, ne répondait pas seulement à une opportunité d'ordre géographique – liée à l'importance de la production solaire du pays, à sa superficie limitée et

renvoie ainsi vers ce que Colletis et al. (1997) qualifient de « ressources spécifiques ». Celles-ci n'apparaissent qu'au moment des combinaisons des stratégies d'acteurs publics et privés, à travers un processus dans lequel la formulation d'un problème et concomitante de sa solution. A la faveur des connaissances et des configurations nouvelles naissant du jeu d'acteurs confrontés à des situations inédites et baignant dans un espace de proximités géographique et institutionnelle, les « ressources spécifiques » offrent ainsi « à chaque acteur du territoire, un espace d'intelligibilité et d'action » (Colletis et Pecqueur, 2005, p.12).

Le corollaire de cette série d'exemples est que l'« épaisseur institutionnelle » d'un territoire (Amin et Thrift, 1993), qui encadrent en majeure partie le processus de réaligement des composantes du régime sociotechnique, favorise bel et bien l'émergence et la diffusion de l'électromobilité. Les pouvoirs publics locaux agissent, en effet, à la manière d'organismes de proximités institutionnelle, organisationnelle et cognitive, articulant par-là des représentations et des pratiques territorialisées. Notons néanmoins que si l'action cohésive des acteurs publics oriente le jeu des acteurs et des organisations privés, les dynamiques d'activation et de spécification des ressources et des actifs résultent de stratégies – coordonnées ou non – de l'ensemble des parties prenantes du territoire (Kébir, 2004), incluant les firmes, les organisations socio-économiques et les acteurs individuels. Ces collectifs, à l'origine d'un « effet territoire » (Colletis, 2010), valorisent les ressources et les actifs propres aux territoires de manières différenciées, chacune s'avérant favorable à l'un des systèmes d'électromobilité identifiés¹⁴⁵. Selon un principe de bouclage avec les facteurs de verrouillage technologique analysés précédemment, les systèmes d'électromobilité identifiés plus avant

conséquemment aux faibles distances des déplacements des Hommes et des marchandises – mais également à la préoccupation majeure des pouvoirs publics de renforcer l'indépendance énergétique du pays vis-à-vis des importations de pétrole, notamment pour se prémunir contre de voisins jugés belliqueux (Bassaler, 2009).

¹⁴⁵ Il ressort de nos exemples que la mise en place d'une infrastructure de recharge pour AE est favorable au modèle « substitution », tandis que le principe de la remontée informationnelle s'inscrit dans le modèle « autopartage ». Enfin, le déploiement de sources renouvelables d'électricité fait écho au modèle « multifaces ». Notons qu'à l'instar des systèmes d'électromobilité, ces formulations de spécification territoriale ne sont pas exclusives les unes par rapport aux autres et peuvent se montrer complémentaires à l'échelle d'un territoire.

constituent, dans la perspective multi-niveaux, les niches à partir desquelles les systèmes et le régime sociotechniques sont susceptibles de se reconfigurer.

À la différence d'autres biens et services, nous arrivons à la conclusion que l'AE, appréhendé comme un bien-système territorialisé, ne fait pas l'objet d'un processus de diffusion usuel mais d'un processus de « traduction », selon l'approche de Callon, Lascoumes et Barthes (2001). En effet, « si la diffusion repose sur le principe de reproduction à l'identique, la traduction affiche d'emblée les transformations qui vont s'opérer à travers les processus d'appropriation par les acteurs » (Richez-Battesti, 2008, p.39). Pour le cas de l'AE, dans une optique normative, le processus d'appropriation est le fait d'acteurs multiples, dont les comportements sont orientés par la valorisation mutuelle entre les propriétés des territoires et les propriétés des technologies, en même temps qu'ils verrouillent les modalités de leur intrication. Dans ce cadre, les technologies peuvent révéler et valoriser les « textures » des territoires, de sorte que la diffusion de l'AE ne s'apparente pas – *stricto sensu* – à un résultat institutionnel. La diffusion de l'AE s'interprète plutôt comme le résultat cohérent et territorialisé d'un contexte institutionnel favorable et d'un potentiel technico-économique offrant des perspectives aux acteurs qui ont la stratégie d'investir dans l'électromobilité.

Conclusion du Chapitre 1.

Dans ce chapitre, nous nous sommes focalisés sur les liens unissant les concepts de « territoire » et de « bien système » et avons envisagé notre contribution en trois temps. Nous avons effectué une revue de la littérature de la lecture institutionnaliste du territoire, associant territoire et innovation, dans une analyse en termes de co-évolution des dynamiques territoriales et technologique. Nous avons justifié ce choix par le fait que cette perspective est

la mieux à même d'analyser les processus de création des technologies et de révéler le rôle actif des territoires dans l'émergence de ces dernières (Colletis, 2010). En effet, le territoire se départit ici d'une acception passive en tant que simple réceptacle des activités des firmes, pour endosser un rôle concret, socialement organisé, producteur de ressources spécifiques et, par-là, véritable acteur du développement économique (Bellet, 1992). En premier lieu, nous avons étudié l'émergence d'une industrie de l'AE en Californie, afin d'illustrer la dimension territoriale de son émergence. En second lieu, nous avons privilégié un niveau d'abstraction supérieur afin d'identifier les vecteurs du processus de désalignement - réalignement (Geels et Schot, 2007) du régime sociotechnique associés à l'émergence de l'AE. Pour cela, nous avons analysé l'émergence de l'AE sous l'angle des dynamiques économique et territoriale, en admettant, dans la lignée des travaux de Colletis et Pecqueur (1993), que le territoire ne constitue pas seulement le creuset des innovations, mais qu'il se montre capable d'orienter, sinon de régir, le rythme et la physionomie de leur émergence.

Plus précisément, dans notre revue de la littérature, nous nous sommes intéressés à ces mécanismes de coordination territorialisés par le biais d'une double distinction. La première s'est appuyée sur la nature du phénomène pris en compte, depuis la création technologique et jusqu'au processus dynamique de territorialisation. Ces approches se distinguent par le rôle central qu'elles accordent respectivement aux apprentissages et aux ressources territoriales, d'appréhension plus globale et accordant une place importante à la logique de maturation du territoire. La seconde s'est appuyée sur la nature des proximités à l'origine des interactions productives et a permis de manifester l'apport de la lecture en termes de systèmes territorialisés d'innovation et, alternativement, l'apport de l'approche « proximiste ». Chacune d'elles s'articule autour de natures de proximités distinctes. Elles relèvent essentiellement de la proximité géographique, c'est-à-dire sur les interactions purement locales, dans les

systèmes territorialisés d'innovation et nature plus riche et complexes dans l'approche « proximiste ».

Au fil de notre développement, nous avons affiné la contribution des systèmes territorialisés d'innovation, en rappelant qu'ils placent l'emphase sur l'architecture des systèmes scientifiques impliquant les universités, les centres de recherche publics et privés, voire les utilisateurs, et dans le cadre de territoires assimilés à des « modes de régulation » (Ndiaye, 2012). En effet, c'est l'appartenance d'industriels locaux à un réseau d'acteurs qui les rend capables d'améliorer les routines organisationnelles d'un système productif local (SPL) donné. Ces derniers, qu'ils se déclinent sous la forme de « districts industriels », de « milieux innovateurs » ou de « technopoles », se repèrent suivant la nature des informations échangées, des modes d'apprentissage qui les portent et suivant la logique « *technology-push* » ou « *demand-pull* » d'émergence de l'innovation (Carluer et Le Goff, 2002). Les SPL renvoient chacun à une forme privilégiée d'émergence des sous-systèmes techniques constitutifs de l'électromobilité.

Dans l'approche « proximiste », le territoire devient un espace construit, organisé et vécu, c'est-à-dire le résultat situé de négociations, de coopérations et de coordination de différents acteurs. La proximité institutionnelle, qui consolide les interactions de l'ensemble des parties prenantes, explique ainsi le dynamisme d'une région, puisque l'ensemble des organisations socioéconomiques territoriales doit être réunies autour d'un projet et d'une stratégie commune. Le processus de territorialisation requière néanmoins le cumul des proximités institutionnelle et organisationnelle, à savoir un arrangement d'ordre fonctionnel entre les organisations d'un territoire quelconque. Dans l'approche « proximiste », l'innovation se montre ainsi « poussée par la dynamique de l'espace-territoire » (Gay et Picard, 2001), ce

dernier prenant la forme d'un ensemble d'institutions et de ressources avec lesquelles les acteurs œuvrent et interagissent. Le territoire s'appréhende ainsi comme un espace de construction d'actifs spécifiques (Duez, 2009).

Pour qu'un apprentissage inter-organisationnel et qu'une dynamique territoriale s'enclenchent, nous avons vu que le rôle des institutions formelles et informelles est prégnant, puisqu'elles conditionnent les évolutions des routines du territoire, nécessaires à la diffusion des innovations majeures et bien-systèmes territorialisés. En cela, elles présentent un caractère normatif, mais également inductif à l'égard des agents économiques. Dans ce cadre, les institutions informelles, en façonnant les représentations collectives et les modèles de pensée, participent à la logique d'alignement des composantes des systèmes sociotechniques et, parallèlement, à l'inertie du régime dominant face au changement. A contrario, les institutions formelles, en exerçant une médiation entre l'action individuelle et les structures collectives et en mobilisant les leviers juridiques et politiques, constituent les vecteurs d'un processus de « désalignement-réalignement » (Geels et Schot, 2007) des composantes des systèmes sociotechniques favorables aux changements technologiques.

Afin de mieux comprendre les dynamiques d'« alignement-désalignement-réalignement » et d'émergence territorialisée des systèmes sociotechniques, qui s'inscrivent dans un processus de territorialisation, nous avons exposé les travaux de Pecqueur et Colletis. Fondés sur la distinction entre les actifs et ressources territoriales et sur leur nature générique ou spécifique, ces travaux apportent une grille d'analyse particulièrement utile. On admettra ainsi que les actifs et ressources génériques, ne tirant pas leur valeur de leur participation à un processus de production donné, sont transférables d'un territoire à l'autre et mobilisables par une technologie ou par une autre. En tant que tels, ils forment des composantes communes et

partagées ou bien suffisamment générales pour ne pas contribuer à la dominance des régimes technologiques ou sociotechniques dominants. Symétriquement, les actifs et ressources spécifiques tirent leur valeur productive ou d'usage de leurs conditions d'usages, si bien qu'il existe un coût associé à leur redéploiement vers un emploi alternatif ou dans le cadre d'une technologie alternative. Aussi, ils contribuent au phénomène de verrouillage sur les systèmes sociotechniques dominants.

L'originalité et la force de la pensée de Colletis et Pecqueur est ainsi de considérer que la technologie n'est pas posée au départ, mais définie « *ex-post* », comme résultante d'un processus de territorialisation, c'est-à-dire la capacité d'un territoire à concevoir et à faire exister des problèmes et des solutions productives et, par analogie, à se reconfigurer et à s'adapter pour susciter l'émergence d'une technologie, sur la base de ressources spécifiques ou spécifiées. Pour cela, il faut analyser quelles sont les étapes et la nature de ces recompositions. Dans les travaux de Pecqueur et Colletis, le processus de territorialisation transite par une « rencontre productive » qui se concrétise dans la coproduction de ressources, pas nécessairement matérielles ni marchandes. Cette mutation ou maturation du territoire compte deux principales séquences, l'« activation des ressources » – à travers laquelle les ressources latentes sont concrétisées par l'interaction des choix des industriels et des organisations publiques locales – et la « spécification d'actifs (génériques) », qui consiste à organiser une souplesse de combinaison des ressources concourant à construire des avantages différentiels territoriaux en termes de croissance économique et de création ou de valorisation des technologies. Le territoire, dans toutes ses nuances et dans toute son épaisseur façonne ainsi les ressources et co-évolue avec elles, puisque les ressources territoriales participent de la formulation du problème productif, en même temps que de sa résolution.

On se gardera néanmoins d'alimenter la thèse d'un déterminisme institutionnel en nuancant foncièrement l'hypothèse de « construction sociale » du marché de l'AE. En effet, si les institutions formelles et informelles accompagnent les territoires, soit dans le changement le long d'une même trajectoire, soit dans le basculement d'une trajectoire technologique à une autre (Hakmi et Zaoual, 2008), l'innovation constitue un produit indéfectiblement lié à la dynamique de relations systémiques portées par des structures économiques, sociales et institutionnelles dont le renouvellement est conditionné par les rapports dialectiques entre l'État et le marché (Coppin, 2002). Nous avons illustré ces propos par la suite, à partir du cas exemplaire de la Californie, sur lequel une montée en généralité s'est articulée.

En structurant notre démarche sur l'approche par les ressources et actifs territoriaux (Colletis et Pecqueur, 1993) et plus précisément sur les dynamiques d'activation des ressources et de spécification d'actifs enchâssés dans un cadre institutionnel, nous avons croisé la grille de lecture territoriale à l'approche par la perspective multi-niveaux (Geels, 2002). Pour fertiliser ce croisement et pour structurer notre pensée, nous avons séquencé notre interprétation et fait apparaître trois temps fondamentaux. D'une part, le phylum évolutionnisme a été mobilisé pour apporter un éclairage sur le phénomène d'alignement qui prévaut dans les régimes sociotechniques institués et qui amalgame des systèmes sociotechniques résultant d'une co-construction entre le territoire et les technologies. En effet, dans cette co-maturation se construit un régime d'usage de la technologie et se créent des pesanteurs, une dominance et un « verrouillage ». D'autre part, le phénomène de désalignement renvoie aux conditions favorables au « déverrouillage », c'est-à-dire au basculement vers un système sociotechnique alternatif. Un tel basculement s'inscrit dans une phase de normalisation ou de « généricisation » des actifs et ressources, à rebours de la logique traditionnelle d'activation des ressources et de spécification des actifs. Finalement, le phénomène de réalignement

s'assimile à un épisode de consolidation tâtonnant et inertiel des composantes du régime sociotechnique qui se verrouillent par la formulation d'une nouvelle « alchimie » entre le territoire et une technologie alternative.

Les systèmes d'électromobilité identifiés en **Partie 2** constituent, à notre sens, les points d'ancrage du réalignement des composantes du régime sociotechnique et, par-là, les vecteurs d'un système sociotechnique articulé sur le VE. Les systèmes d'électromobilité composent, en effet, des niches de marché sur lesquelles l'AE et le véhicule thermique usuel se trouvent réellement en concurrence. Cette mention est importante car dans le cas des technologies de nature systémique, les effets de verrouillage s'associent à un mécanisme d'endogénéisation des technologies dans le territoire. Ceci s'explique par le fait que la technologie [système] la plus diffusée incite au développement de biens et services complémentaires et, en seconde maille, parce que ces biens et services complémentaires contribuent à révéler le territoire et à spécifier ses ressources et actifs. Les réseaux de stations essence et de réparation, dont les savoir-faire et le capital matériel sont très spécifiques et dédiés à la technologie du véhicule thermique, illustrent parfaitement le phénomène, d'autant que les performances de ce dernier ont progressivement infusé les usages, les représentations collectives et l'organisation spatiale des territoires.

Les conditions du basculement vers un système sociotechnique alternatif s'inscrivent dans la levée des facteurs de verrouillage sur la solution du véhicule thermique, dont l'ancrage territorial est un élément essentiel. De ce point de vue, le maintien, sous une forme contrariée, du système dominant ou le basculement vers un système sociotechnique distinct ne se forge pas uniquement dans la nébuleuse du régime sociotechnique, mais également dans la proximité d'usage des technologies en concurrence. La levée des ces verrous nécessite ainsi le

pivot de ressources et d'actifs territoriaux suffisamment génériques pour être identiquement « activables » et « spécifiables » par des technologies concurrentes, ou bien transite par une étape de « désépécification » d'actifs qui prolonge la remise en cause partielle du système sociotechnique dominant, provenant de tensions d'ordre macrostructurel ou issues du régime sociotechnique, sous la forme d'une crise au caractère structurel, social et écologique qui interroge notamment le socle énergétique sur lequel repose le modèle de croissance des économies contemporaines. La déstabilisation du système dominant homogénéise, en effet, les points de forces et de faiblesses des technologies, dont les potentiels s'équilibrent dans un contexte mouvant. Cet épisode de « normalisation » des actifs et des ressources du territoire est notamment le fait de la puissance publique, qui interroge son arsenal législatif afin de réorienter les choix individuels et ceux des industriels pour un modèle plus vertueux.

Les institutions formelles et informelles jouent un rôle crucial dans la transition des systèmes et des régimes sociotechniques. L'analyse de l'émergence de l'AE en Californie a montré que les institutions, participant d'une « construction territoriale » (Colletis et al., 1997), forgent une culture du territoire et façonnent des ressources territoriales spécifiques. En Californie, ces ressources se concrétisent dans des représentations et des formes d'actions collectives favorables à l'écologie et dans l'organisation de proximités géographiques, organisationnelles et institutionnelles (Torre et Rallet, 2005), se combinant de manière originale. L'industrie de l'AE émergeant en Californie se singularise, en effet, par des perspectives élargies par le franchissement des frontières sectorielles traditionnelles des industries de l'énergie, des transports et des télécommunications et suscite des effets d'entraînement marqués par l'apparition précoce d'opérateurs de mobilité électrique. Dans cette acception, l'AE devient un maillon central des systèmes électrique et énergétique territoriaux, qui sont, en Californie, respectivement vieillissants et sujets à une forte variabilité de consommation et de production.

Il apparaît ainsi que le processus de territorialisation des technologies ne s'enclenche pas uniquement à partir du potentiel avéré ou latent des actifs et ressources du territoire, à l'instar des travaux de Colletis et Pecqueur (1993 ; 2005), mais également sur la base des faiblesses intrinsèques des territoires, dans une forme de « déterminisme des points faibles », justifiant une appropriation singulière des technologies et une diffusion territorialisée de l'AE.

L'AE, au titre de bien-système territorialisé, ne fait pas l'objet d'un processus de diffusion usuel, sur le principe d'une reproduction à l'identique, mais d'un processus de « traduction » (Callon, Lascoumes et Barthes, 2001), en écho à une appropriation spécifique par le territoire et ses acteurs. Une telle appropriation repose sur une logique de valorisation mutuelle entre les propriétés des territoires – en termes de ressources et d'actifs – et les propriétés d'une technologie donnée, dont l'intrication est à l'origine du phénomène de réalignement des composantes du régime sociotechnique et du verrouillage sur un système sociotechnique renouvelé. Le réalignement s'opère à partir d'une dynamique graduelle d'activation des ressources et de spécification des actifs, à partir de vecteurs singuliers qui conditionnent la physionomie d'émergence de l'AE, s'adaptant – à notre sens – aux multiples systèmes d'électromobilité identifiés. Dans cette optique, l'émergence de l'AE résulte moins de l'installation d'une infrastructure de recharge standard dans un territoire à l'échelle administrative, que dans sa correspondance étroite aux comportements de déplacement des usagers de la route, éventuellement canalisée par un dialogue territorial façonnant les mobilités des acteurs, sa capacité à capitaliser sur les ressources du territoire en termes de compétences et de caractéristiques géographiques, afin d'apporter de l'intelligence aux bornes et de se superposer aux temps productifs et sociaux, à l'échelle des territoires « vécus » (Frémont, 1976).

Le **Chapitre 1**, intitulé « Une approche institutionnaliste et évolutionnaire du territoire et des dynamiques d'émergence et de diffusion de l'automobile électrique », nous aura permis d'enrichir la définition du bien-système territorialisé, appréhendé comme un produit dont les fonctionnalités – étendues ou augmentées par rapport à la gamme des besoins usuellement satisfaite – sont spécifiées en fonction des propriétés d'un territoire en termes de ressources et d'actifs et sont actionnées par une dose de volontarisme politique. Le **Chapitre 2** suivant, intitulé « Le bien-système territorialisé repensé à la lueur d'une grille d'interprétation lancastérienne », nous offrira l'opportunité de préciser la nature et les vecteurs du phénomène d'émergence territorialisée et d'avancer la thèse d'une diffusion de l'AE par capillarité.

Chapitre 2 : Le bien-système territorialisé repensé à la lueur d'une grille d'interprétation lancastérienne

Dans ce **Chapitre 2**, nous proposons de schématiser le processus de « traduction » à l'origine de la diffusion de l'électromobilité, que nous avons préalablement mis en évidence et ainsi en optimiser l'exploitation. Pour cela, nous adoptons une grille d'interprétation des dynamiques d'émergence et de diffusion de l'électromobilité complémentaire par rapport à la perspective multi-niveaux (Geels, 2002). Le fil directeur de ce chapitre, qui se propose de boucler la totalité de la thèse, se compose d'un enrichissement progressif d'une représentation dudit processus de « traduction », notamment en plaçant la focale sur le rôle des territoires. De manière plus générique, l'objectif de ce chapitre est de donner naissance à une démarche analytique mobilisable pour interpréter les innovations assimilées aux « bien-systèmes territorialisés » et, par-là, susceptible de décrypter les canaux d'encastrement des innovations dans le territoire. Le soubassement théorique privilégié est celui de l'approche lancastérienne par les caractéristiques des produits (ou du bien-attributs), qui nous permet de préciser la nature et les vecteurs du phénomène d'émergence territorialisée et d'avancer la thèse d'une diffusion de l'AE par capillarité.

Le lien existant entre l'approche lancastérienne et l'économie du territoire n'est pas récent. Il se concrétise notamment dans la notion d'« ancrage territorial », qui considère la relation au territoire comme une caractéristique des biens (Requier-Desjardins, 2009). La référence au concept de caractéristique développé par Lancaster (1966) fait d'ailleurs de la notion d'ancrage territorial « la base d'une approche théorique légitime du concept de territoire en économie » (Requier-Desjardins, 2009). Dans la vision lancastérienne, les biens n'apportent

aucune satisfaction en tant que tels. Ils procurent une satisfaction seulement lorsqu'ils sont enchâssés dans des activités, entendues en termes productif ou de mobilité. Par analogie, les ressources territoriales – et il nous semble qu'il s'agit également du cas des technologies que le territoire abrite – n'apparaissent que dans leur appartenance à un cadre d'usage et/ou de fonctionnement (Colletis et Pecqueur, 1993). Dans ce cadre, l'enjeu est ici d'envisager l'émergence de l'électromobilité en questionnant la convergence entre les propriétés de cette technologie et les actifs et ressources des territoires.

Flexible, la grille lancastérienne est capable d'intégrer le phénomène d'enclenchement des processus d'activation des ressources génériques et de spécification des actifs territoriaux (Colletis et Pecqueur, 1993 ; 2005). Cette assertion nous invite, au même titre que Mollard et Pecqueur (2007), à abandonner la vision caricaturale du paradigme standard, qui réduit la demande des consommateurs à une somme de préférences *ex-nihilo* pour des biens strictement homogènes. *A contrario*, notre approche lancastérienne précise le contenu et l'articulation des « espaces » technologique, territorial et des modalités d'usages à l'origine des quatre-modèles types d'émergence de l'électromobilité contemporaine.

A partir de l'approche technico-économique de la **Partie 1**, nous montrons dans le déroulé de la **Partie 2** que l'AE renvoie à certaines fonctions (de mobilité, de stockage), au support desquelles nous identifions quatre modèles-types de systèmes d'électromobilité. Dans les premiers développements du **Chapitre 2**, nous appréhendons les effets de ces archétypes sur le phénomène de désalignement-réalignement « territorialisé » des composantes du système sociotechnique conditionnant la nature, la vitesse et la probabilité d'émergence de l'électromobilité. Nous proposons désormais d'apporter des éclairages complémentaires portant sur les dynamiques d'émergence et de diffusion territorialisées de l'électromobilité

contemporaine en étudiant les travaux de Lancaster (1966, 1991) [1] et ses prolongements en terme de « characteristics-based models » [2] et en puisant dans ceux-là les composants d'une représentation lancastérienne de l'émergence des systèmes d'électromobilité [3], tout en l'exploitant pour avancer la thèse d'une diffusion par capillarité des modèles d'électromobilité [4].

1. L'approche lancastérienne du bien-attributs et ses prolongements en termes de « *characteristics-based models* ».

1.1. L'approche lancastérienne du bien-attributs.

« La théorie néo-classique, depuis Menger, a longtemps développé une approche de la demande extrêmement simple, voire simpliste, cohérente avec le moule de l'« *homo economicus* ». L'évolution des conditions réelles de consommation a contraint progressivement cette théorie à prendre en compte de premières formes de différenciation » (Mollard, Pecqueur et Moalla, 2005, p.77).

Dans son article intitulé « A new approach to consumer theory », Lancaster (1966) produit une critique virulente la théorie néoclassique qui, jusqu'alors, ne prenait pas rigoureusement en compte l'hétérogénéité des biens échangés sur le marché. Sans modification substantielle, il était en effet impossible pour cette dernière de saisir et de mesurer la réaction des consommateurs lors de l'apparition de nouveaux biens ou suite à la variation de leur qualité. En outre, contrainte par l'hypothèse d'homogénéité et, par-là, de neutralité des biens consommés, la théorie traditionnelle n'était pas outillée pour valider théoriquement certaines intuitions empiriques suivant lesquelles certains biens ou services s'envisagent comme des

substituts ou encore comme complémentaires à d'autres biens ou services. En outre, nombre de critères rapprochent ou, au contraire, distancient les biens entre eux. Par exemple, « un repas (entendu comme un bien unique) possède des caractéristiques nutritionnelles, mais aussi esthétiques, introduisant une différence entre des repas possédant ces caractéristiques en proportions distinctes » (Lancaster, 1966, p.133).

Notons dès à présent qu'il existe un lien originel entre le concept de « bien-système » et l'approche lancastérienne par les caractéristiques (ou approche multi-attributs) des produits, venant justifier l'usage de cette dernière dans notre compréhension de l'émergence des systèmes d'électromobilité. Lancaster (1966) évoque ainsi le fait qu'un « dîner, entendu comme la combinaison de deux biens, c'est-à-dire un repas et un contexte social, peut posséder des caractéristiques nutritionnelles, esthétiques et – peut-être – intellectuelles, différenciées par rapport à la combinaison obtenue à partir d'un repas et d'un rassemblement social consommés séparément » (p.133). En corollaire, dans le prolongement des **Parties 1** et **2** de notre travail, c'est bien sur la base d'une comparaison entre les composantes d'un bien-système, l'AE, envisagée dans la combinaison de ses modalités d'usage et de ses propriétés technologiques, sur une base territoriale, que peut émerger une lecture synthétique, originale et pertinente des « bien-systèmes territorialisés », à l'instar des systèmes d'électromobilité.

En vue de combler les carences théoriques identifiées, Lancaster (1966) développe une analyse dont « la principale nouveauté technique consiste à s'écarter de l'approche traditionnelle considérant les biens comme les objets directs de l'utilité et, à la place, supposer que l'utilité découle indirectement des propriétés ou des caractéristiques de ces biens » (Lancaster, 1966, p.133). Dans ce cadre, « les biens disposent de caractéristiques

objectivement mesurables, et ce sont ces caractéristiques, plus que les biens eux-mêmes, qui sont les arguments des fonctions d'utilités » (Archibald et Rosenbluth, 1975, p.571). Cela signifie que « les biens sont considérés, non comme des entités, mais comme des faisceaux de caractéristiques, dont la demande dérive » (Gaffard, 1990, p.182). Formellement, les goûts des consommateurs sont distribués dans un espace continu de caractéristiques qui, agrégées, forment les « attributs » d'un bien et façonnent des « groupes » de biens¹⁴⁶. Recourir à cette approche permet ainsi d'illustrer et de modéliser les propriétés propres à l'AE et leurs spécificités à l'égard du véhicule thermique (Cf. **Partie 1**), car « les biens sont différenciés les uns des autres suivant un certain nombre d'attributs de consommation » (Laroche Dupraz et al., 2008, p.80) et, au-delà, par un ensemble de scores sur chacune des caractéristiques sélectionnées (Mollard et al., 2005).

Dans ce développement original de la théorie microéconomique, les consommateurs accordent leur préférence aux biens supportant les caractéristiques, parmi lesquelles le prix, qu'ils valorisent le plus. Les consommateurs se comportent alors, en quelque sorte, comme des producteurs, puisque les choix des biens (ou *outputs*) qu'ils formulent sont déterminés par la maximisation de l'utilité retirée des attributs (ou *inputs*) des biens, sous contrainte de revenu et de disponibilité des biens sur le marché, et compte tenu des prix relatifs des différents produits en concurrence (Laroche Dupraz et al., 2008). Dans cet esprit, le consommateur joue donc un rôle dans la détermination des attributs et recherche non pas un bien, mais plus foncièrement le service – ou la fonctionnalité – de base que le bien est susceptible de lui rendre (Mollard et al., 2005).

¹⁴⁶ Un « groupe » de biens est composé d'un ensemble de biens possédant une ou plusieurs caractéristiques similaires, dans des proportions analogues.

Parmi les avantages tirés de cette démarche, nous soulignons la possibilité de rendre compte de l'apparition de nouveaux produits sur le marché sans avoir à modifier les fonctions d'utilité. En admettant que les consommateurs ont des préférences identiques vis-à-vis des autres biens disponibles dans l'économie, les fonctions d'utilités individuelles diffèrent par leur argument en termes de caractéristiques techniques – en termes de présence et de proportion – et non par les quantités de biens consommés (Bresson et Mathieu, 1992). Méthodologiquement, l'introduction d'un nouveau produit induit alors seulement le passage d'un espace à n dimensions à un espace à $n+1$ dimensions. Dès lors, il est possible d'analyser les effets sur les prix et sur la demande des ménages de l'introduction d'un nouveau bien, sans modifications théorique fondamentale.

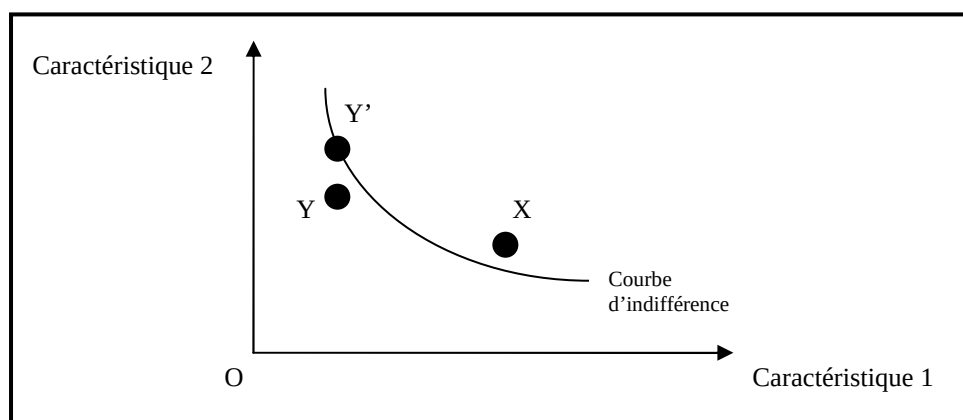
Dans une telle perspective lancastérienne, biens et caractéristiques sont ainsi reliés linéairement sous la forme $Z = \beta X$, où X est le vecteur « attributs » formalisé par une matrice de format $(n,1)$ et représentant les n caractéristiques d'un même bien A . Z est le vecteur « bien », formalisé par une matrice diagonale de format (m,n) , c'est-à-dire la somme des niveaux d'utilité procurés par la consommation respective des n caractéristiques. β est une matrice $(m,1)$ de coefficients constants. En postulant que les n caractéristiques X_n d'un même bien fournies en quantités égales et identiques pour tous les consommateurs, les préférences de ces derniers sont reflétées par leurs choix. La fonction d'utilité (ou fonctionnalité finale) du bien A (notée Z_{iA}) s'écrit alors :

$$Z_{iA} = \beta_{i1}X_{a_1} + \beta_{i2}X_{a_2} + \beta_{i3}X_{a_3} + \dots + \beta_{in}X_{a_n}$$

Schématiquement, l'analyse des préférences des consommateurs en termes d'attributs peut se représenter dans un repère orthonormé, dont l'abscisse et l'ordonnée sont respectivement

représentées par les caractéristiques 1 et 2 (**Figure 48** : Préférences des consommateurs pour les caractéristiques des biens). Cette représentation, qui permet d'ordonner les préférences à l'égard des caractéristiques, est analogue à celle des courbes d'indifférence de la théorie microéconomique du consommateur usuelle, bien que ces dernières s'adressent traditionnellement aux biens et non aux caractéristiques. Ici, les points X et Y représentent deux biens au contenu en caractéristiques différencié, tandis que les points Y et Y' représentent la collection de deux caractéristiques différentes que peut posséder un même bien Y. Suivant les préférences indiquées par la courbe d'indifférence, un agent pourra – dans cet exemple – préférer le bien Y' au bien Y, mais le bien X au bien Y'. L'ordre des préférences varie, en effet, au gré de la spécification des produits en termes de caractéristiques. Aussi, bien que les préférences des consommateurs envers les caractéristiques restent stables, les préférences sur les biens peuvent changer si la composition en caractéristiques des biens change. En cela, l'approche de Lancaster est d'une grande pertinence vis-à-vis de la différenciation des produits et des choix individuels, y compris sur des considérations technologiques et au niveau des spécificités des territoires.

Figure 48 : Préférences des consommateurs pour les caractéristiques des biens :



Source : GAFFARD (1990), p.59

Comme nous le verrons plus avant, à l'image de Gallouj et Weinstein (1997), il est possible d'interpréter les points X, Y et Y' comme des variations sur le thème de l'innovation et, à

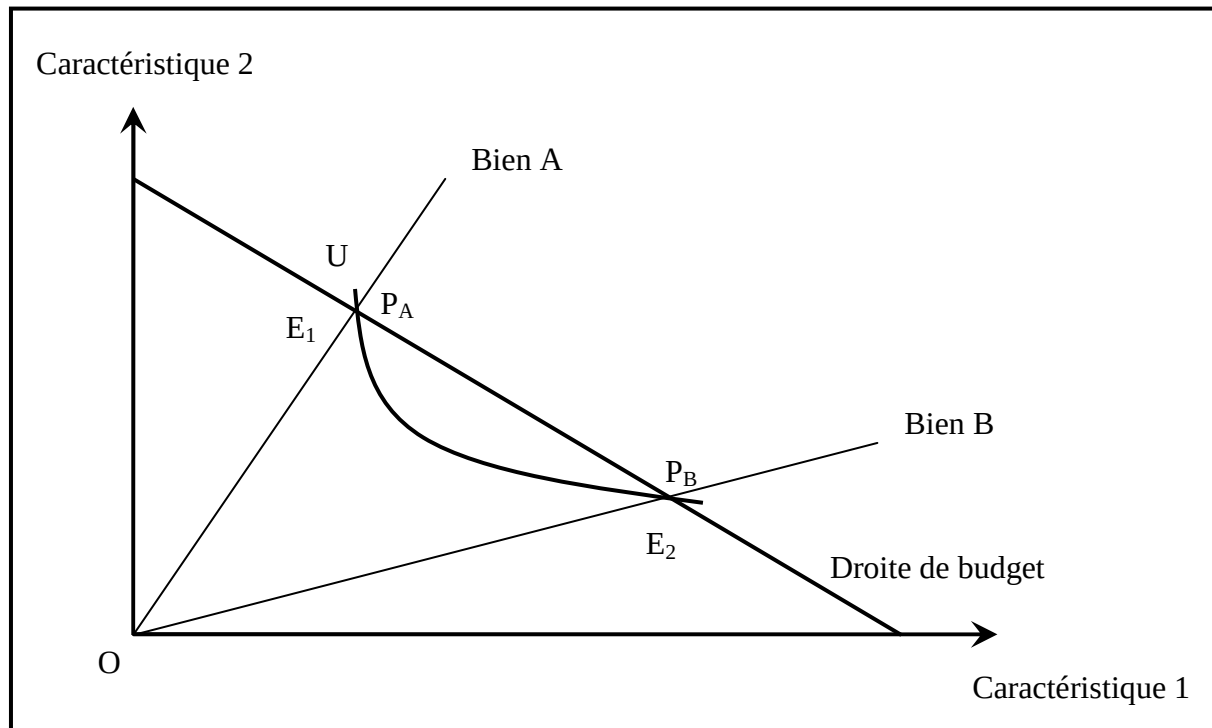
partir de notre grille de lecture, en termes de systèmes d'électromobilité. De ce point de vue, nous interprétons les modèles d'électromobilité intitulés « substitution rigide » et « substitution flexible » (Cf. **Partie 2**) comme des alternatives directes au véhicule thermique, dans ses usages usuels. Considérant leur grande proximité, toutes ces options se situent « graphiquement » sur la même courbe d'indifférence (ou d'iso-utilité), en partageant des combinaisons de caractéristiques similaires. Au total, l'approche lancastérienne par les caractéristiques des produits démontre bel et bien sa richesse et sa puissance explicative par rapport à la modélisation classique du comportement du consommateur. D'après Lancaster (1966), elle la supplante et la complète à trois titres. D'une part, ce n'est pas le bien, lui-même, qui est – objectivement – à l'origine de l'utilité du consommateur, mais les attributs de ce bien. D'autre part, un bien possédera souvent plus d'une caractéristique et chacune d'elles peut-être partagée par plusieurs biens. Finalement, des biens combinés (ou bien-systèmes) peuvent posséder des caractéristiques distinctes des caractéristiques « encastrées » dans chacun des biens pris isolément.

Afin de représenter plus finement la possibilité pour un bien de présenter un vecteur d'attributs, potentiellement combinés à d'autres caractéristiques en quantité variable et/ou issues de la consommation simultanée d'autres « biens »¹⁴⁷, il est possible de déterminer graphiquement l'ensemble des consommations accessibles et la frontière d'efficacité allocative de ces consommations. Le cas le plus simple est introduit par Lancaster (1966) qui envisage l'existence de deux caractéristiques, 1 et 2, obtenues conjointement de la consommation de deux biens, A et B. Au moyen d'un repère orthonormé, et en tenant compte de la contrainte budgétaire du consommateur, du prix relatif des deux biens et des combinaisons d'attributs propres à la consommation de chaque bien, on pointe – dans un

¹⁴⁷ Rappelons que chez Lancaster, ces « biens » renvoient également à des contextes, sur l'exemple du dîner appréhendé comme la combinaison de deux biens, un repas et un contexte social (Lancaster, 1966, p.133).

premier temps – les consommations potentielles et la frontière d'efficacité allocative des consommations (**Figure 49** : Représentation lancastrienne des choix du consommateur en termes de caractéristiques).

Figure 49 : Représentation lancastrienne des choix du consommateur en termes de caractéristiques :



Source : à partir de Lancaster (1966), p.147

Dans cette représentation, chacun des deux produits A et B est effectivement vecteur de deux attributs de consommation, présents dans des proportions distinctes. Conformément à l'hypothèse de non-saturation des préférences, on postule que l'utilité du consommateur grandit à mesure que la quantité en caractéristiques 1 et 2 de chacun des biens s'accroît. Le segment de droite $[P_A, P_B]$ représente la partie accessible de la droite de budget initiale – compte tenu du prix respectif de chacun des biens P_A et P_B – et regroupe l'ensemble des points d'équilibre obtenus lorsque la totalité du budget du consommateur est consacrée à la consommation respectivement du bien A (demi-droite $[O, P_A]$) et du bien B (demi-droite

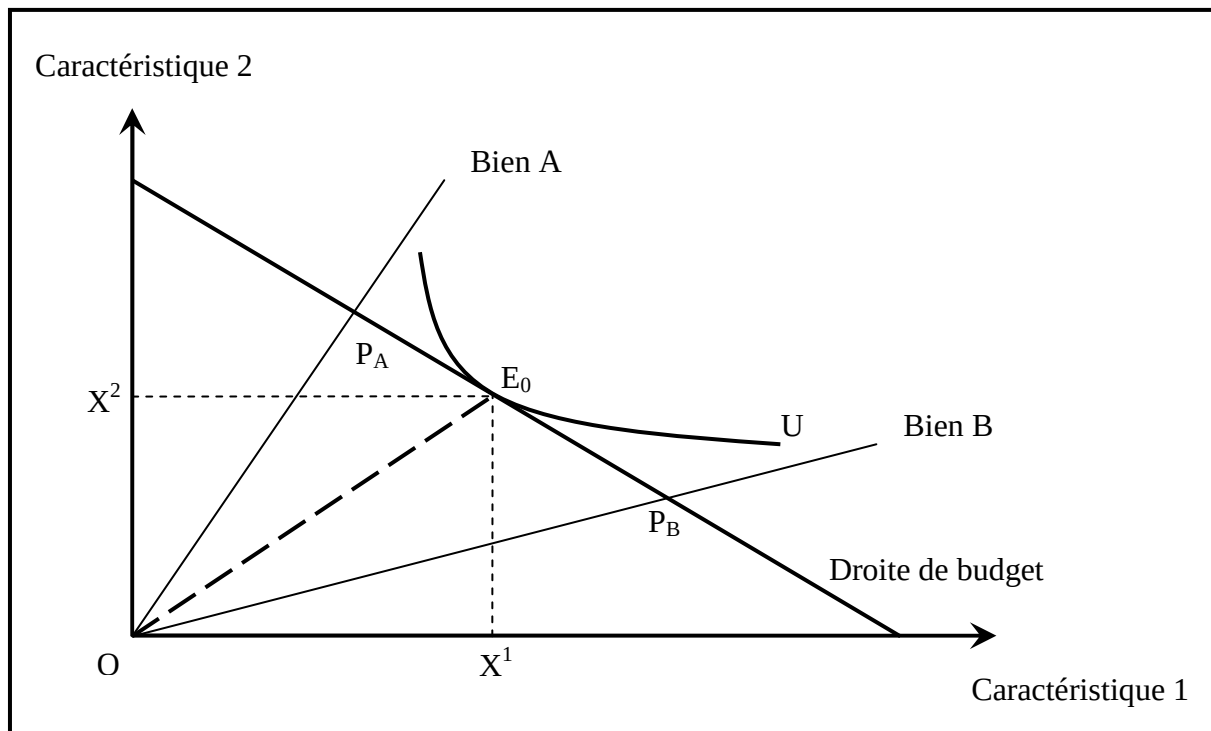
$[O, P_B])$. U est la courbe d'iso-utilité et E_1 et E_2 , qui se confondent ici avec les prix respectifs de chacun des biens, représentent les points de consommation efficace maximisant l'utilité du consommateur, compte tenu de sa contrainte budgétaire.

A l'aide de ce schéma, nous déterminons le niveau optimal en caractéristiques des biens (**Figure 50** : Détermination du niveau optimal en caractéristiques des biens : le cas des biens combinables), en particulier dans le cas où les caractéristiques des deux biens (A et B) sont parfaitement combinables¹⁴⁸. La propriété de « combinabilité » est importante car elle façonne les modèles d'électromobilité, dont nous rappelons qu'ils agrègent des caractéristiques d'usage et des propriétés technologiques et territoriales. Notons que si les « biens » ne sont pas combinables, le consommateur se contente d'un optimum de second rang, de sorte que les attributs du bien qu'il consomme sont déterminés par la proximité entre les coordonnées de sa combinaison idéale et le contenu en caractéristiques respectif des biens A et B. Précisons que le point E_O représente le point de consommation effective, c'est-à-dire le niveau de caractéristiques qui maximise l'utilité du consommateur compte tenu de sa contrainte budgétaire et de ses préférences¹⁴⁹. La demi-droite $[O, E_O)$ représente la carte d'indifférence du consommateur et constitue, ainsi, l'axe de déplacement de la courbe d'iso-utilité U lorsque le budget des consommateurs s'accroît.

¹⁴⁸ Dans ses travaux de 1966, Lancaster adopte l'hypothèse d'une « combinabilité » entre les caractéristiques des biens. Pour apprécier les conséquences de la levée de cette hypothèse, se reporter vers Lancaster (1980).

¹⁴⁹ Dans le cas où un bien C passe par le point E_O , on le qualifie de « optimal good » (Lancaster, 1966) ou de « most preferred good » (Lancaster, 1975).

Figure 50 : Détermination du niveau optimal en caractéristiques des biens : le cas des biens combinables :

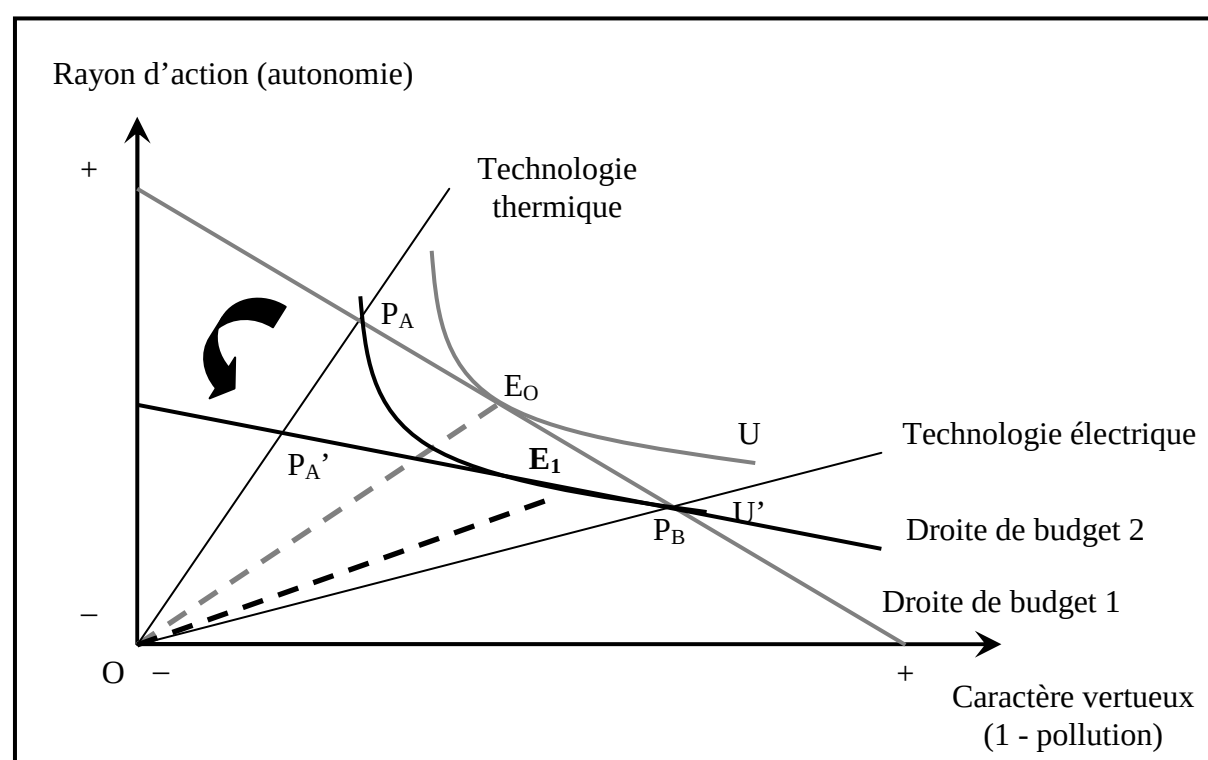


Source : à partir de Lancaster (1966), p.147

L'intérêt d'une telle représentation lancastérienne est également d'être en mesure d'analyser les conséquences d'une variation des prix relatifs des biens et, conséquemment, leur substitution. Pour cela, envisageons deux technologies de motorisation, thermique et électrique, combinables sous la forme d'une hybridation – légère, moyenne ou forte – de la chaîne de traction d'un véhicule. Les caractéristiques 1 et 2 renvoient respectivement au caractère vertueux (émissions polluantes) et au rayon d'action, de chaque technologie. Supposons que le coût de la technologie thermique (P_A) augmente jusqu'en P_A' , par le jeu de la fiscalité, au gré d'une taxe carbone. Toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire sans modification des revenus des consommateurs, ce changement de prix entraîne un déplacement de la droite de budget de $[P_A P_B]$ vers $[P_A' P_B]$ (**Figure 51** : Représentation lancastérienne : le cas de la variation des prix relatifs des biens). De même la hausse du prix

du bien A va diminuer le niveau d'utilité $U' < U$ et, en admettant que les caractéristiques des biens sont combinables, le niveau optimal en caractéristiques se déplace de E_0 en E_1 . Finalement, la pente de la nouvelle demi-droite $[OE_1)$ indique une modification de la répartition de la consommation entre les biens en faveur d'une substitution partielle de la technologie thermique par la consommation d'une portion supplémentaire de technologie électrique, voire d'une substitution totale en cas de caractéristiques – partiellement – non combinables¹⁵⁰.

Figure 51 : Représentation lancastérienne : le cas de la variation des prix relatifs des biens :

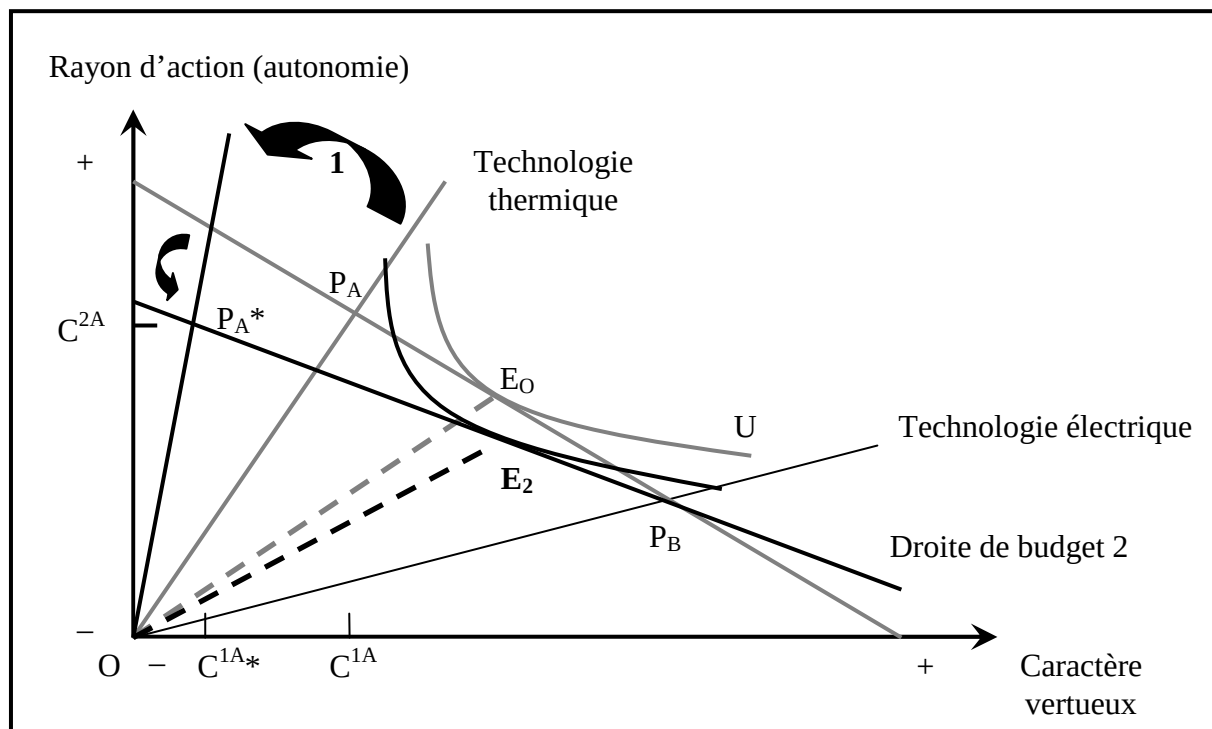


Source : à partir de Laroche-Dupraz et al. (2008), p.91

¹⁵⁰ La technologie hybride rechargeable (plus communément appelée *Plug-in hybrid*) semble intrinsèquement peu rentable. En effet, elle se dote – tout à la fois – d'un moteur thermique faisant office de générateur, d'une batterie d'un gros gabarit devant offrir une autonomie confortable et d'un moteur électrique susceptible d'entraîner un véhicule alourdi pour toutes ces technologies. De fait, chacune de ces technologies ne se montre pas moins onéreuse que celles qui intègrent les modèles thermiques ou électrique « purs », alors même que ces derniers minimisent le nombre de ces composants constitutifs.

Au-delà des conséquences d'une modification du prix relatif des biens, la représentation lancastrienne capte les modifications des choix des consommateurs liées à leur perception des caractéristiques des biens. Imaginons qu'une campagne de sensibilisation auprès des consommateurs, portant sur les effets négatifs de la pollution automobile sur la santé humaine, abaisse la perception du caractère vertueux de la technologie thermique par ces derniers. Dans cette hypothèse, la demi-droite des consommations accessibles se déplace de $[OP_A)$ à $[OP_A^*)$, si bien que pour un même niveau C^{2A} d'autonomie retirée de la consommation exclusive de technologie thermique, le consommateur profite d'un niveau inférieur $C^{1A*} < C^{1A}$ de caractère vertueux. La droite de budget passe donc désormais par le segment $[P_A^*P_B]$ (**Figure 52** : Représentation lancastrienne : le cas d'une modification de la perception des caractéristiques par les consommateurs) et la sensibilisation des consommateurs peut engendrer une substitution partielle ou totale d'un bien par un autre.

Figure 52 : Représentation lancastrienne : le cas d'une modification de la perception des caractéristiques par les consommateurs :



Source : à partir de Laroche-Dupraz et al. (2008), p.91

L'approche lancastérienne stipule que « les biens disposent de caractéristiques objectivement mesurables, et ce sont ces caractéristiques, plus que les biens eux-mêmes, qui sont les arguments des fonctions d'utilités » (Archibald et Rosenbluth, 1975, p.571). Aussi, « les biens sont considérés, non comme des entités, mais comme des faisceaux de caractéristiques, dont la demande dérive » (Gaffard, 1990, p.182). Dans ce cadre, les consommateurs formulent des choix de biens qui sont déterminés par la maximisation de l'utilité retirée de leurs attributs (ou *inputs*), sous contrainte de revenu et compte tenu des prix relatifs des produits en concurrence (Laroche Dupraz et al., 2008). Une telle représentation se révèle précieuse pour rendre compte de multiples phénomènes jusque-là inaccessibles à la théorie microéconomique standard, tout en minorant les amendements par rapport à celle-ci. Parmi ces phénomènes, la différenciation entre les biens, la réaction des consommateurs à l'apparition de nouveaux produits ou à la variation – réelle ou perçue – de leur qualité ou prix relatifs sont utiles pour cerner certains phénomènes en jeu dans l'émergence de l'AE.

Néanmoins, si elle fait montre de nombreux avantages, en complétant utilement la théorie microéconomique standard, ce type spécifique de représentation lancastérienne est insuffisante pour formaliser la complexité du processus de substitution du véhicule thermique par l'AE, dont nous avons vu qu'il transite par un complexe processus de traduction « territorialisé » de systèmes d'électromobilité. En particulier, pour maintenir un équilibre entre les propriétés calculatoires et les évidences empiriques, il est nécessaire [dans l'approche lancastérienne] d'infléchir les hypothèses du modèle. Jusque-là, pour des raisons de commodité, nous avons ainsi étudié le cas de la correspondance simple, qualifiée de « *one-to-one mapping* », entre les biens et les caractéristiques. Le nombre de caractéristiques était égal au nombre de produits, le vecteur Z ($Z = \beta X$) formait une matrice diagonale de format (m,n) et β une matrice de permutation (avec $X = \beta^{-1}Z$). Dans les deux cas équivalents

où Z n'est pas une matrice diagonale¹⁵¹, ou bien que β n'est pas une matrice de permutation, la phase calculatoire est fortement complexifiée par rapport au modèle simple. En effet, lorsque le nombre de caractéristiques est supérieur au nombre de produits, la relation $Z = \beta X$ donne lieu à un système d'équations contenant plus d'équations que de variables X_i . Il s'agit notamment du cas des bien-systèmes combinant des caractéristiques pour produire différents outputs, aux fonctionnalités spécifiques. Pour contourner cette difficulté, une méthode est de choisir arbitrairement n caractéristiques parmi p caractéristiques ($p > n$), pour en égaliser le nombre avec les n biens (Lancaster, 1966, p.138). Une méthode alternative moins calculatoire est de repenser – en partie – le cadre d'interprétation lancastérien.

Les « characteristics-based models » s'inscrivent dans cette démarche de prolongement ajusté de la perspective lancastérienne. Les réflexions initiales de Saviotti et Metcalfe (1984), centrées sur les produits manufacturés, donneront lieu à un enrichissement progressif, dont un point d'étape important est l'élargissement aux activités de services par Gallouj et Weinstein (1997). A partir de ces représentations, qui envisagent l'innovation comme « une dynamique des caractéristiques, qui s'opère selon une arithmétique d'addition, de soustraction, d'association, de dissociation et de formatage des caractéristiques » (Djellal et Gallouj, 2012, p.88), nous entendons adapter graduellement la construction théorique proposée au cas des systèmes d'électromobilité, afin de concrétiser et d'apporter de l'épaisseur à ces derniers.

¹⁵¹ Sur une matrice diagonale, les coefficients en dehors de la diagonale principale sont nuls.

1.2. Une introduction aux « *characteristics-based models* ».

Avant d'exposer ses multiples expressions, rappelons que l'approche par les caractéristiques n'est pas en elle-même une théorie, mais plutôt une grille d'analyse (Windrum et García-Goñi, 2008). Il ne s'agit donc pas d'une fin, mais d'un moyen au service de conceptions théoriques qu'elle contribue à exalter. Chez certains auteurs, la perspective lancastérienne permet de préciser le contenu et les caractéristiques des innovations, dans une logique typologique (Saviotti et Metcalfe, 1984 ; Gallouj et Weinstein, 1997), complémentant, par-là, les analyses standards des innovations technologiques se concentrant traditionnellement sur les effets de l'innovation (Gallouj et Weinstein, 1997). Pour notre cas d'espèce, la trame est forgée par le concept de « bien système territorialisé » et, ultimement, par la perspective multi-niveaux.

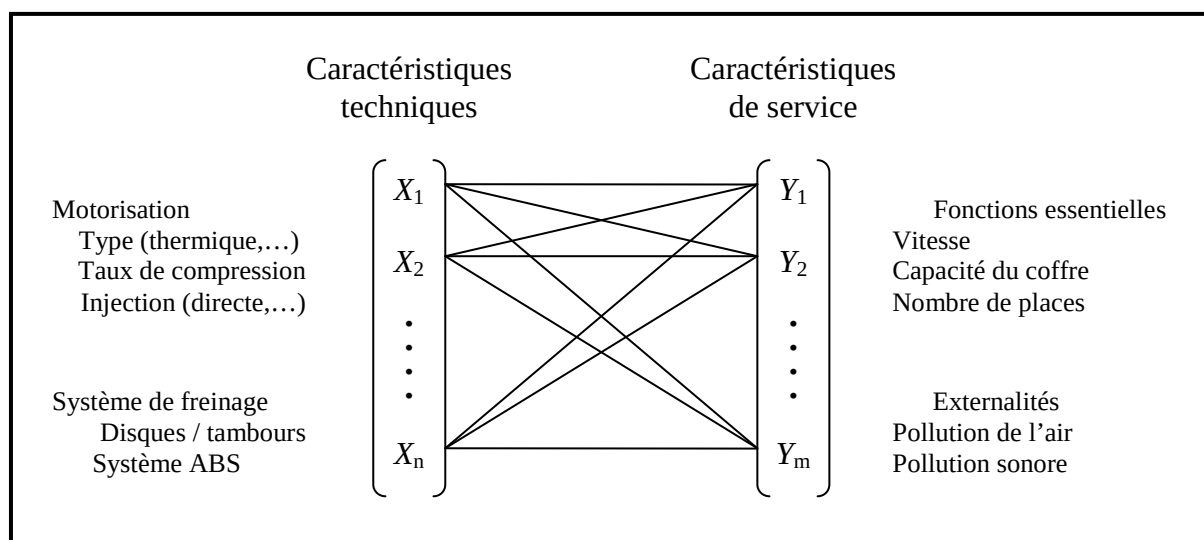
Deux traits spécifiques, découlant de la dimension intégrative de l'approche lancastérienne, font régularité dans les formalisations étudiées plus en avant. Il s'agit, d'une part, de leur nature combinatoire, puisqu'ils associent des produits et des services marchands, provenant du secteur privé, mais également du secteur public (Caccommo et Solonandrasana, 2003), sur l'exemple des infrastructures télécoms, énergétiques et routières, pour le cas de l'AE. Il s'agit, d'autre part, d'appréhender toutes les facettes du processus innovant sur l'entièreté du cycle de l'innovation, depuis sa genèse et jusqu'à sa diffusion. D'amont en aval, Saviotti et Metcalfe (1984) insistent sur la capacité des « *characteritics-based models* » à (re)concilier les approches « *science push* » et « *demand pull* », Gallouj et Weinstein (1997) se focalisent sur le contenu et les caractéristiques des innovations, Windrum et García-Goñi (2008) soulignent la diversité des acteurs et de leurs interactions, tandis que Gallouj, Chiadmi et Le Corroller (2010) y ajoutent la diversité des régimes d'appropriation des produits et, partant,

posent la question des évolutions et des transformations de l'innovation, y compris en dynamique, alors même que la frontière des produits et services [complexes] peut se montrer poreuse et mouvante. A tous ces égards, la diffusion de l'AE, conditionnée à l'émergence de systèmes d'électromobilité vecteurs du processus de désalignement-réalignement des composantes du régime sociotechnique dominant, se place comme un cas typique.

1.2.1. Le modèle originel de Saviotti et Metcalfe (1984).

Le modèle générique des représentations basées sur les caractéristiques des biens est celui de Saviotti et Metcalfe (1984). La visée théorique des travaux de ces derniers, au même titre que ceux de Saviotti (1996) est d'insuffler une perspective dynamique et évolutionnaire à l'approche lancastérienne. La démarche entreprise est de saisir le changement technologique à l'échelle des produits industriels, à travers la modification de leur physionomie et ainsi, de développer une unité de mesure de l'innovation. Pour cela, Saviotti et Metcalfe (1984) appréhendent les biens comme la mise en correspondance de deux vecteurs de caractéristiques, portant respectivement sur les caractéristiques techniques « internes » des produits (X) et sur les caractéristiques finales du service rendu à l'utilisateur (Y) (**Figure 53 : Représentation d'un bien en termes de caractéristiques techniques et fonctionnelles**). Sur cette base, le système de suspension ou la motorisation d'une automobile renvoie à des propriétés internes d'un véhicule, qui se concrétisent dans ses performances ou sa sécurité.

Figure 53 : Représentation d'un bien en termes de caractéristiques techniques et fonctionnelles :



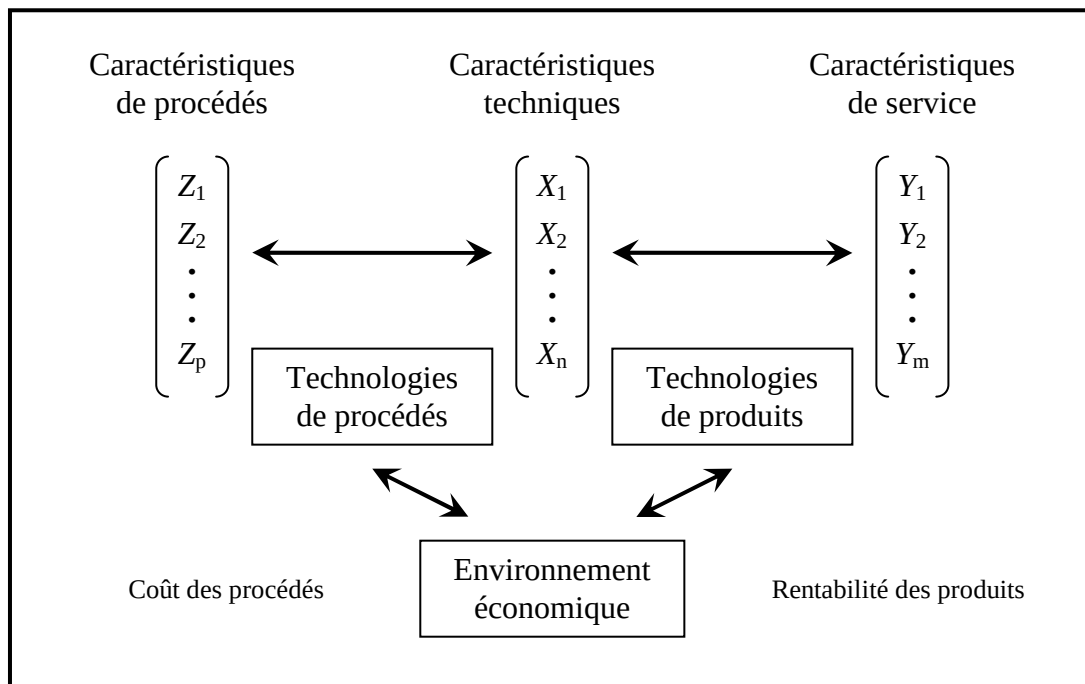
Source : Saviotti et Metcalfe (1984), p.142

En s'appuyant sur un tel cadre conceptuel, Saviotti et Metcalfe (1984) interprètent l'innovation à travers la modification de la valeur absolue ou relative des caractéristiques techniques (X) ou de service (Y)¹⁵². Au-delà, l'innovation se manifeste dans la combinaison nouvelle des caractéristiques techniques et de service, à partir d'un état combinatoire initial. Dans une logique de raffinement de leur modèle de base, Saviotti et Metcalfe (1984) identifient également des caractéristiques de procédés (Z), qui renvoient essentiellement aux savoir-faire, méthodes et modes d'organisation mobilisés dans la production des biens¹⁵³. Ainsi gréé, leur modèle permet de distinguer les technologies – et conséquemment les innovations – de procédés et de produits (**Figure 54** : Le modèle complet de Saviotti et Metcalfe (1984)). Il permet également de mieux comprendre les conditions d'émergence d'un nouveau régime technologique, ce que nous montrerons plus en avant, dans une version légèrement amendée, par le biais d'une formalisation de l'émergence des systèmes d'électromobilité.

¹⁵² Les vecteurs X et Y se composent d'une collection de caractéristiques ou de performances hétérogènes.

¹⁵³ Pour Saviotti (1996), les caractéristiques de procédés sont réductibles à une combinaison de caractéristiques techniques, de sorte qu'elles se confondent.

Figure 54 : Le modèle complet de Saviotti et Metcalfe (1984) :



Source : Saviotti et Metcalfe (1984), p.144

Dans un pur déterminisme technologique, le taux d'utilisation d'une technologie, son rythme d'innovation et les conditions du basculement vers un régime technologique alternatif sont ici assujettis aux caractéristiques techniques et de procédés intrinsèques des produits, ainsi qu'à la qualité de l'appariement entre les modalités de production et les propriétés techniques des produits et entre les propriétés techniques et la performance d'usage des produits. Au support des travaux de Nelson et Winter (1982), Saviotti et Metcalfe (1984) avancent, en effet, que le régime technologique consiste en un nombre donné de caractéristiques techniques (X) spécifiques, auxquelles correspondent des technologies de procédés et de services. Si X_i évolue, le régime technologique emprunte une nouvelle trajectoire. D'après les auteurs, ce changement s'accompagne potentiellement d'une amélioration des caractéristiques d'usage (Y), mais pas nécessairement de discontinuités. Dans le cas de l'AE, nous avons vu que certains systèmes d'électromobilité capitalisent sur la continuité des caractéristiques

d'usage¹⁵⁴, favorisant le processus de désalignement-réalignement du système sociotechnique, tandis que les modèles « bouquet » et « multifactes » se fondent sur une discontinuité en termes de fonctionnalités.

1.2.2. Le modèle générique des innovations de biens et de services par Gallouj et Weinstein (1997).

Fondés sur une trame évolutionnaire analogue au modèle de Saviotti et Metcalfe (1984), Gallouj et Weinstein (1997) transposent l'outil au cas des innovations de service, dont l'une des valeurs ajoutées est de s'affranchir d'un déterminisme technologique qui sied mal à l'émergence contemporaine de l'AE. Un tel apport nous sera très utile pour appréhender l'émergence des systèmes d'électromobilité, car nous avons vu que ces derniers s'adosent fréquemment à des opérateurs de mobilité électrique, voire à des opérateurs énergétiques, affirmant la nature servicielle de l'électromobilité. Précisons que le modèle développé par Gallouj et Weinstein (1997) s'inscrit dans une perspective intégratrice traitant l'innovation de biens et services avec les mêmes outils. Cette démarche est fondée sur le constat suivant lequel la frontière entre les biens et services s'estompe, puisqu'ils sont « de moins en moins vendus et consommés de manière indépendante, mais de plus en plus en tant que solutions, systèmes, fonctions » (Djellal et Gallouj, 2012, p.86) et ce, en particulier, dans l'industrie automobile (Lenfle et Midler, 2003). Le modèle de Gallouj et Weinstein (1997) composera l'une des armatures de notre modélisation intégrative de l'émergence territorialisée des systèmes d'électromobilité.

¹⁵⁴ Il s'agit des modèles « substitution flexible » et « substitution rigide ».

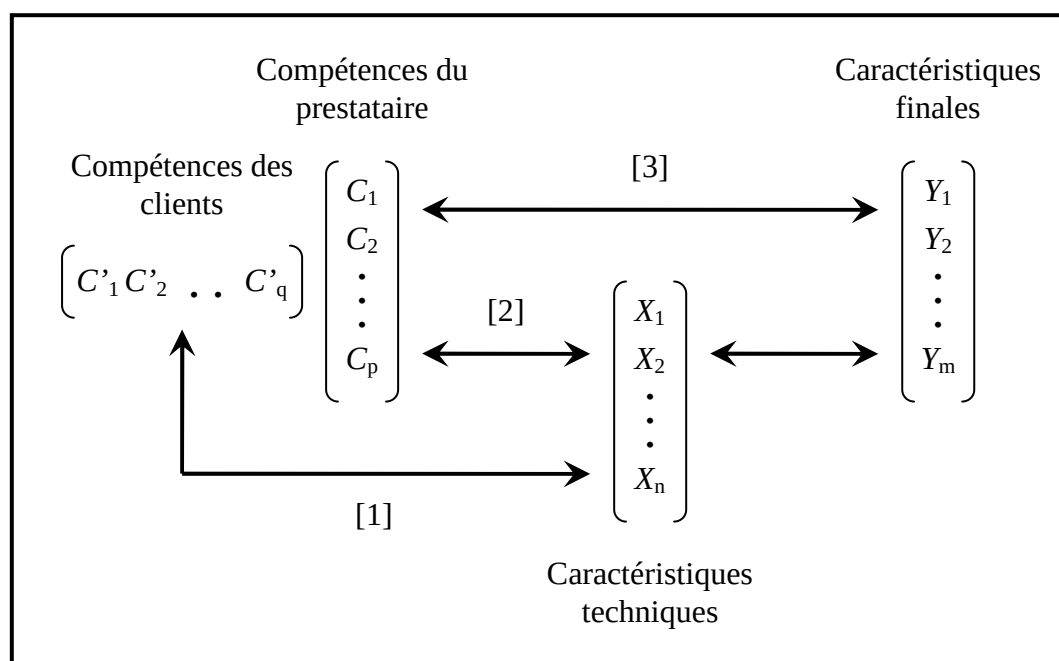
Au même titre que les biens, les services sont les vecteurs de services rendus à l'utilisateur (Y), susceptibles d'être caractérisés. Un distributeur automatique de billets est, par exemple, capable de fournir des billets, un relevé d'identité bancaire, ou encore de dresser un état des comptes bancaires (Secomandi et al., 2008). Néanmoins, si les caractéristiques d'usage des biens matériels renvoient logiquement à des caractéristiques techniques chez Saviotti et Metcalfe (1984), l'approche par les services nécessite des ajustements et l'introduction d'une séquence distincte. En particulier, alors qu'un bien dispose « d'un haut degré d'extériorité vis-à-vis de l'individu qui l'a produit et de celui qui le consommera » (Gallouj et Weinstein, 1997, p.540), l'une des propriétés fondamentales des activités de service est l'implication – sinon la participation active – du client dans la production même du service. Certaines prestations de service peuvent, en outre, être réalisées par la mobilisation directe et exclusive de compétences, sans interfaces matérielles. Corrélativement, il est difficile d'opérer une distinction entre les caractéristiques techniques et les caractéristiques de procédés pour les activités de services, tandis que le vecteur de caractéristiques de service (Y_i) ne peut ainsi en être dérivé avec précision *a priori*.

En vue d'apporter une réponse appropriée, Gallouj et Weinstein (1997) envisagent une ingénierie complexe identifiant des compétences propres au prestataire du service (C)¹⁵⁵, mais également propres au client (C'), ainsi que des caractéristiques techniques (X), l'ensemble se combinant sous la forme de caractéristiques finales (Y) associées aux biens et services fournis (**Figure 55** : Le modèle général de Gallouj et Weinstein (1997)). Par le biais des arcs [1] et [2], les auteurs soulignent la dualité des caractéristiques techniques [matérielles et immatérielles (méthodes, procédures,...)] mobilisées dans la production des biens et services. L'arc [3] évoque, quant à lui, les services qui s'affranchissent de la

¹⁵⁵ Les compétences des prestataires intègrent les actifs physiques et intangibles, ainsi que les ressources humaines (savoir-faire) et les ressources organisationnelles (culture d'entreprise, routines).

médiation technologique, à l'instar des spectacles vivants, tandis que la séquence $[(C'_i)(X_i)(Y_i)]$ renvoie aux services impliquant les seuls clients, tel que le « *self-service* ». Appliquée au commerce de proximité (Gallouj, 2004), cette représentation fait étalage de sa flexibilité (**Annexe 38** : Formalisation lancastérienne à la Gallouj et Weinstein (1997) appliquée au cas du commerce de proximité, p.597).

Figure 55 : Le modèle général de Gallouj et Weinstein (1997) :



Source : Gallouj et Weinstein (1997), p.546

En s'ouvrant à la problématique des services, au-delà des produits, le modèle de Gallouj et Weinstein (1997) prend en compte l'innovation technologique, de même que ses formes non technologiques. Considérant, par ailleurs, le rôle potentiel des usagers dans la définition des caractéristiques finales des biens et services, si le modèle de Gallouj et Weinstein (1997) parvient – dans une certaine mesure – à rendre compte de l'innovation sociale, située à la convergence des innovations non technologiques et du rôle actif des usagers, il se montre incapable d'appréhender les nouvelles formes d'innovations comme l'*Internet*, le e-business, ou encore la téléphonie mobile, pour lesquelles les clients interagissent avec les prestataires

de services sur la base de leurs propres terminaux technologiques. Pour contourner cette difficulté, nous proposons de nous orienter vers la modélisation de De Vries (2006) et y puiser les moyens de cartographier les configurations d'émergence des systèmes d'électromobilité.

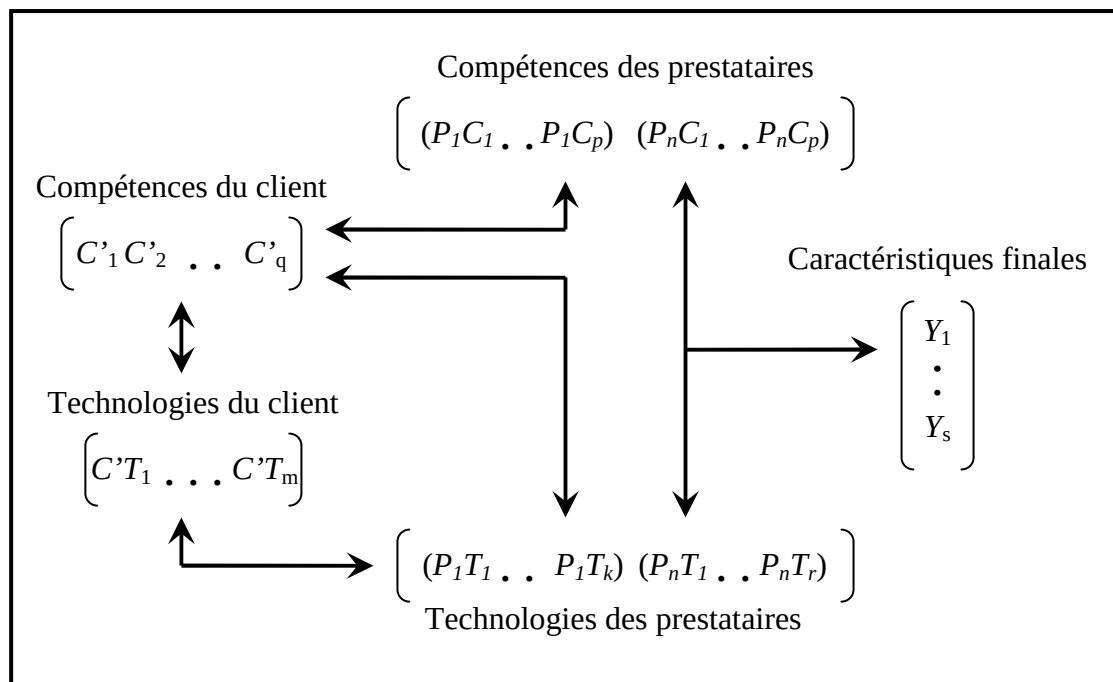
1.2.3. Prolongement du modèle de Gallouj et Weinstein : Précisions sur le rôle des usagers dans la production des biens et services. L'apport de De Vries (2006).

Dans le canevas du modèle de Gallouj et Weinstein (1997), les clients sont susceptibles de contribuer activement à l'élaboration d'une innovation – et plus généralement – d'une prestation de service, cependant, ils sont incapables de mobiliser leurs propres technologies pour co-produire ces prestations, alors même que cette configuration est un fait stylisé des innovations les plus contemporaines (De Vries, 2006). Pour ce dernier, les deux dernières décennies sont marquées par deux mouvements de fond, qui sont la vente de bouquets de produits et services issus de réseaux d'entreprises aux compétences complémentaires et la co-production de biens et services avec les clients. Pour étayer cette thèse, De Vries (2006) avance que de nombreuses firmes ont multiplié les innovations servicielles à l'orée des années 2000, capitalisant sur les NTIC pour accéder aux clients, sur la base de leurs propres terminaux (téléphone mobile, ordinateurs personnels). Cette assertion renvoie au rôle des opérateurs de mobilité électrique, qui superposent des couches de services dont l'AE est le support, l'origine et/ou la destination (Cf. **Partie 2**).

Pour préciser et enrichir le rôle tenu par les clients, De Vries (2006) soumet le modèle de Gallouj et Weinstein (1997) à deux modifications. Premièrement, il ajoute un vecteur des

technologies du client ($C'T_1, \dots, C'T_l$) et un vecteur des technologies des prestataires ($P_1T_1, \dots, P_1T_k$) aux vecteurs de compétences respectifs initiaux, afin d'expliciter la nature des interactions et de concrétiser la co-production des services venant se positionner sur les produits pour en améliorer les fonctionnalités. Secondement, au vecteur des compétences du prestataire initial, il substitue un vecteur complexifié $[(P_1C_1, \dots, P_1C_p)(P_nC_1, \dots, P_nC_p)]$ indiquant le fait qu'un même service peut nécessiter la contribution de plus d'un prestataire, notamment dans le cadre des réseaux inter-organisationnels (**Figure 56** : Le modèle de De Vries (2006)).

Figure 56 : Le modèle de De Vries (2006) :

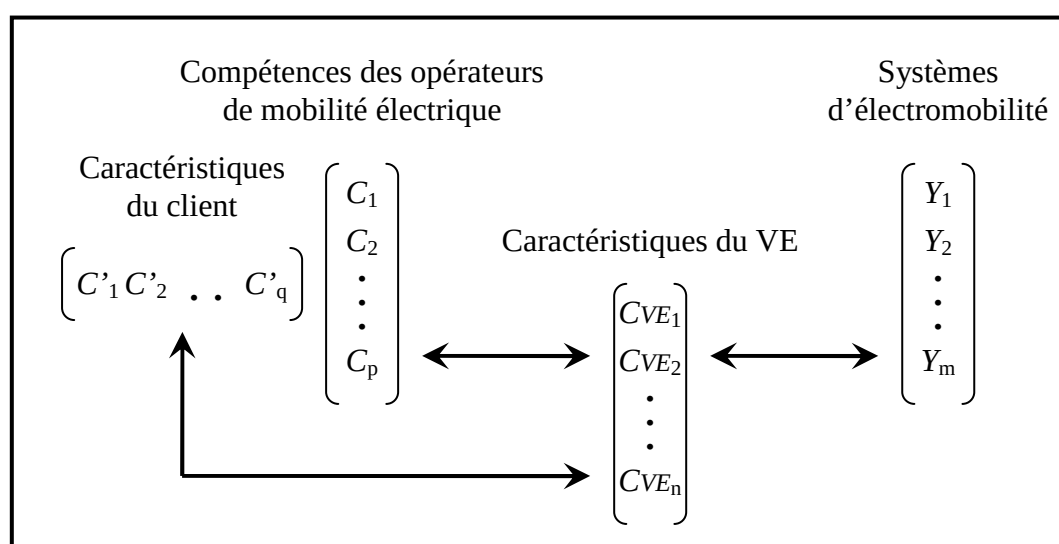


Source : De Vries (2006), p.1046

Si le schéma est voisin, il est nécessaire d'ajuster la représentation de De Vries (2006) pour l'adapter au cas de l'électromobilité, dans lequel les automobilistes co-produisent ou, plus exactement, co-façonnent les caractéristiques finales des systèmes d'électromobilité avec le concours potentiel des opérateurs de mobilité électrique. En premier lieu, cette configuration induit le passage des « compétences du client » aux « caractéristiques du client », qui

orientent – identiquement aux compétences du client – la physionomie des systèmes d'électromobilité (respectivement les caractéristiques finales du produit ou service). Les caractéristiques du client ont notamment trait au niveau d'équipement¹⁵⁶, à la connaissance *ex-ante* et au caractère répétitif des parcours. En second lieu, nous prenons le parti de fusionner les « technologies du client » et les « technologies des prestataires » et de les assimiler à un vecteur générique des « caractéristiques de l'AE », puisque l'AE représente à la fois le moyen de déplacement des clients, l'origine, le support et la destination des services offerts par les prestataires, qui sont les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Cet isomorphisme entre les technologies des clients et celles des prestataires permet de nous concentrer sur les « compétences des prestataires », les opérateurs de mobilité électrique (**Figure 57** Ebauche d'une représentation lancastérienne des systèmes d'électromobilité)¹⁵⁷.

Figure 57 : Ebauche d'une représentation lancastérienne des systèmes d'électromobilité :



Source : Représentation de l'auteur

¹⁵⁶ La notion d'équipement renvoie tout autant au nombre de véhicules dans le ménage, à l'accès à l'*Internet* par *smartphone* ou tablette numérique et, bien sûr à l'accès aux bornes de recharge privée, à domicile.

¹⁵⁷ Notons l'absence de liens directs entre les compétences des opérateurs de mobilité électrique ou les caractéristiques clients et les systèmes d'électromobilité. Elle provient de ce que l'AE est un bien et non service. Les services se superposent, en fait, sur l'AE notamment pour lui permettre de maximiser ses fonctionnalités, agrégées sous la forme de systèmes d'électromobilité.

Dans notre volonté de synthétiser la contribution de chaque composante à l'origine de la formation de systèmes d'électromobilité, nous proposons finalement d'intégrer une dimension territoriale. Cette dernière, qui singularise notre grille de lecture de l'émergence de l'AE, constitue également notre principal apport aux modèles d'inspiration lancastérienne (ou *characteristic-based models*), dans sa capacité à rendre compte de l'émergence des « bien-systèmes territorialisés ». A cette fin, nous croisons les contributions de Windrum et García-Goñi (2008) et de Secomandi et al. (2008) et structurons une approche intégrative des rôles que revêt le territoire dans l'émergence des innovations systémiques. Schématiquement, nous avons jusqu'ici admis que le territoire intervient à deux niveaux dans l'émergence et la diffusion de l'électromobilité. D'une part, les choix du régulateur et, plus généralement, les institutions formelles (administrations locales, associations), favorisent ou non l'adoption de l'AE. D'autre part, les caractéristiques géographiques, infrastructurelles et culturelles, intimement liées au territoire, dessinent les opportunités ou les verrous à l'électromobilité.

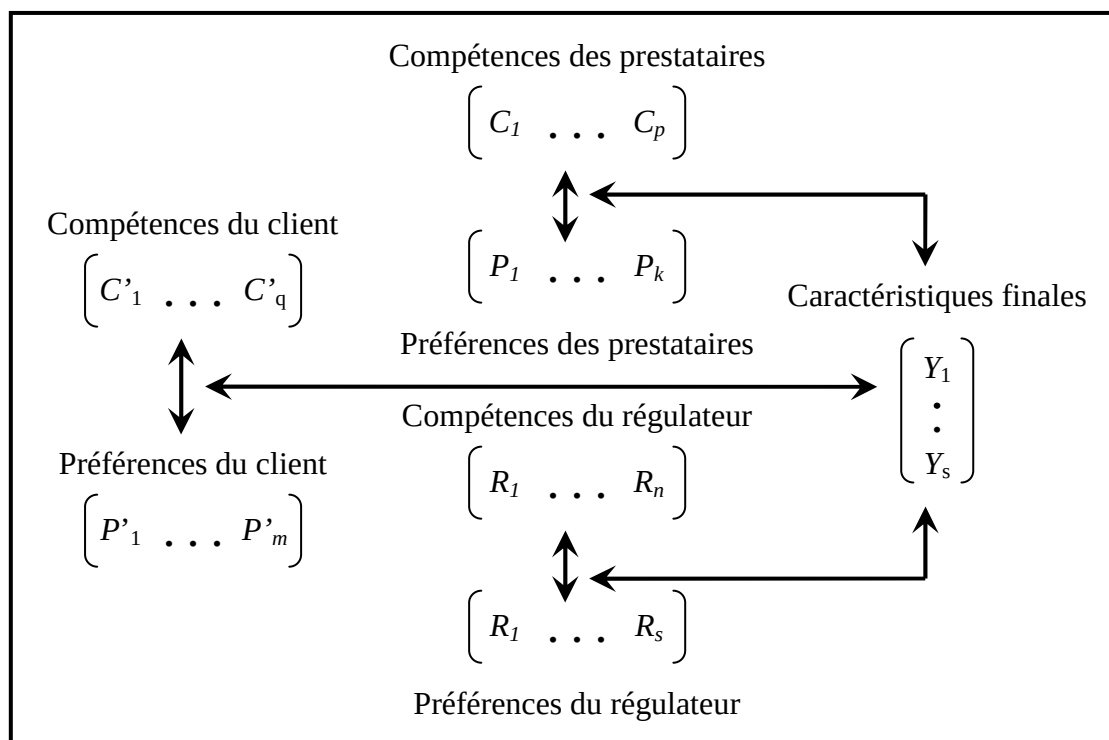
1.2.4. Prolongement du modèle de Gallouj et Weinstein : Intégration de la dimension territoriale.

Afin de représenter la dimension territorialisée de l'émergence de l'électromobilité, nous mobilisons les travaux complémentaires de Windrum et García-Goñi (2008) et de Secomandi et al. (2008). Les premiers placent l'emphasis sur le rôle essentiel du régulateur public dans les processus d'innovation, tandis que les seconds soulignent notamment l'importance du cadre d'usage des technologies dans la validation de leurs fonctionnalités.

Pour Windrum et García-Goñi (2008), l'introduction d'un régulateur public enrichit considérablement la perspective lancastérienne en l'ouvrant sur l'analyse des interactions

entre les sphères économique, sociale et politique qui façonnent l'environnement de sélection des innovations. En fondant leurs propos sur le cas des innovations servicielles dans le secteur de la santé et en articulant ces dernières à un modèle évolutionnaire multi-agents, Windrum et García-Goñi (2008) cherchent à apprécier la nature des choix et les modalités d'intervention du régulateur public dans l'émergence de l'innovation émanant d'organismes publics ou privés. Les préférences et les compétences du régulateur manifestent, selon eux, les deux sources d'influence des pouvoirs publics sur les processus d'innovation. Cette physionomie donne lieu à deux vecteurs supplémentant les travaux de Gallouj et Weinstein (**Figure 58** : Le modèle de Windrum et García-Goñi (2008)). Remarquons que dans cette représentation, les acteurs sont deux à deux indépendants, bien qu'ils impulsent chacun directement les caractéristiques finales du service.

Figure 58 : Le modèle de Windrum et García-Goñi (2008) :



Source : Windrum et García-Goñi (2008), p.658

L'explicitation du rôle du régulateur par Windrum et García-Goñi (2008) intervient dans un second temps et puise sa source dans la littérature économique. La notion de « préférences du régulateur » est tirée de l'école du « Welfare » (Pigou, 1920), pour laquelle la « fonction objectif » du régulateur est une traduction immédiate de la demande sociale exprimée à un gouvernement élu. La notion de « compétences du régulateur », quant à elle, est liée aux modalités d'intervention du régulateur public. De fait, s'il n'apporte pas directement une prestation de santé, le régulateur dispose des moyens d'inciter ou de limiter la survenue d'innovation, en produisant lui-même des biens complémentaires, en finançant la recherche fondamentale, ou bien en jouant le rôle de législateur. A ce titre, bien que leur modèle ait une vocation générique, Windrum et García-Goñi (2008) insistent sur la spécificité du secteur de la santé quant au rôle prégnant du régulateur. En cela, cette représentation sied parfaitement au cas de l'électromobilité, dont l'émergence et la diffusion sont – en partie – adossées aux politiques publiques, outre les contextes géographique, infrastructurel et culturel territorialisé.

Les contextes d'action et, plus généralement, les cadres d'usage sont essentiels pour valider les caractéristiques physiques et les fonctionnalités des technologies. Pour étayer cette assertion, Secomandi et al. (2008) fondent leurs propos sur les travaux de Simon (1969) et de Kroes (2002), lesquels s'inscrivent dans une approche épistémologique des technologies. Simon (1969) appréhende ainsi un système technique comme un artefact interfaçant un « environnement interne », celui de l'architecture du système, et un « environnement externe », l'environnement dans lequel il opère. Dans ce cadre, une montre solaire fonctionne grâce à ses engrenages et en partie en raison des conditions de luminosité propres à une unité de lieu et de temps. En partant d'un « environnement externe » non régi par la nature, mais par l'intentionnalité humaine, Kroes (2002) met l'accent sur l'importance du contexte des

actions humaines sur la nature des fonctionnalités des biens et services. Dans ce nouveau cadre, en l'absence de luminosité et/ou de questionnement sur l'heure qu'il est, une montre reste un objet physique aux seules vertus décoratives. En conséquence, la correspondance entre les propriétés intrinsèques des technologies, leurs cadres géographique et infrastructurel d'usage, de même que l'intentionnalité et le contexte culturel dans lesquels elles s'inscrivent forment le creuset favorable à l'émergence et la diffusion des bien-systèmes territorialisés et, au premier chef, des systèmes d'électromobilité.

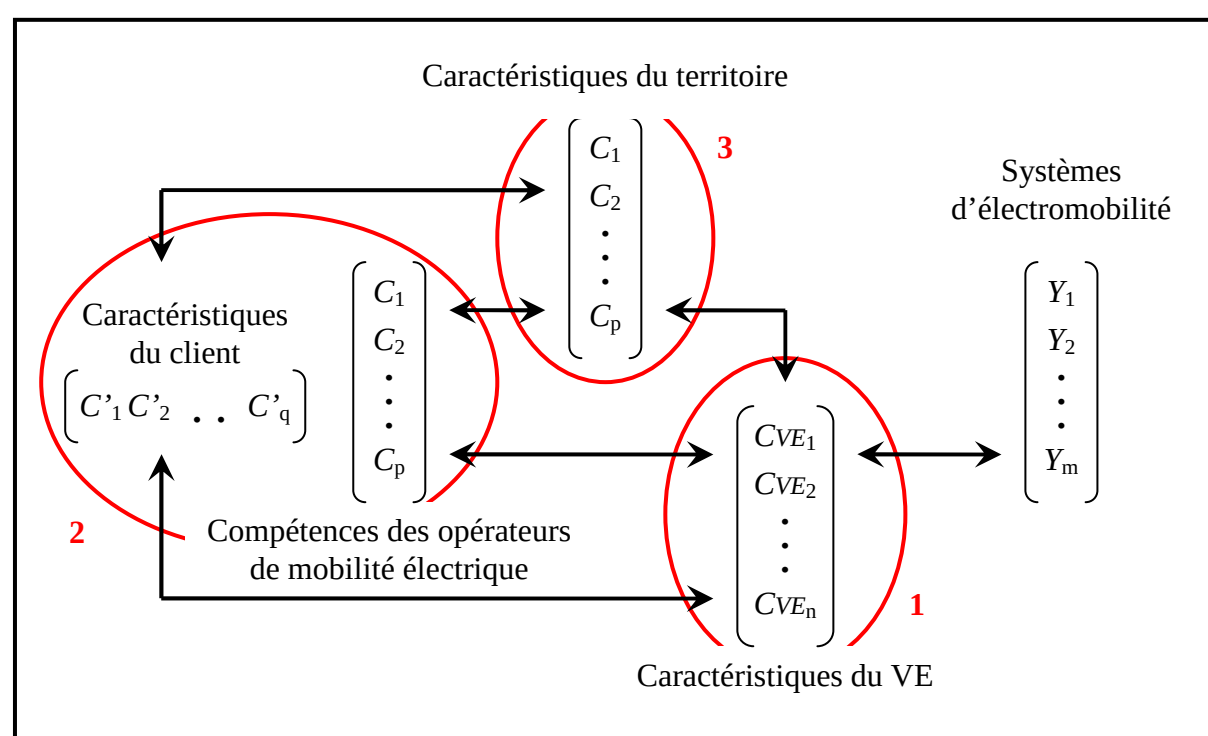
La prise en compte du territoire, dans toutes ses composantes, nous conduit à adopter une représentation lancastérienne singulière qui est détaillée plus en avant.

2. Représentation lancastérienne de l'émergence des systèmes d'électromobilité.

Dans le souci de représenter la dynamique d'émergence et de diffusion des systèmes d'électromobilité, qui constituent les niches à partir desquelles l'électromobilité est en mesure de disputer le statut de standard dominant du système sociotechnique automobile actuel, nous procédons en trois temps. En premier lieu, à partir de la représentation lancastérienne suivante (**Figure 59** : Représentation simplifiée de l'émergence des systèmes d'électromobilité), nous privilégions une analyse désagrégée et « statique », précisant la morphologie des vecteurs intitulés « îlot des caractéristiques de l'AE » [1], « îlot des caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » [2] et « îlot des caractéristiques du territoire » [3], ainsi que la nature de leurs composantes respectives. En deuxième lieu, nous recourons à une modélisation synthétique mais complexifiée de l'émergence des systèmes d'électromobilité afin d'en dégager les modalités

d'agencement et d'articulation globale. L'enjeu est prioritairement de replacer l'AE dans son environnement d'émergence et d'identifier les séquences d'émergence des quatre modèles d'électromobilité préalablement décrits (Cf. **Partie 2**). Finalement, dans une perspective dynamique, nous étudierons les modalités de diffusion des modèles d'électromobilité, au support desquels une phase de désalignement-réalignement des composantes du régime sociotechnique automobile dominant est susceptible d'intervenir.

Figure 59 : Représentation simplifiée de l'émergence des systèmes d'électromobilité :



Source : Représentation de l'auteur

Dans l'analyse et la diffusion des systèmes d'électromobilité, nous considérons ainsi plusieurs niveaux d'agrégation, dont la logique graduelle revient, dans la terminologie de Zimmermann (1995), à distinguer la combinatoire des technologies, la combinatoire des performances et la combinatoire des caractéristiques d'utilisation, s'agrégeant sous la forme des systèmes d'électromobilité. La combinatoire des performances se saisit comme une combinatoire de valorisation des technologies élémentaires pour la réalisation de produits.

Elle se situe ainsi hors contexte. La combinatoire des caractéristiques d'utilisation, pour sa part, s'envisage comme « une combinatoire de valorisation des produits en vue de la réalisation de « solutions » à des problèmes posés en termes de caractéristiques d'utilisation » (Ibid., p.1271). Nous débutons notre développement par une analyse « îlot par îlot », d'essence statique, nous permettant de préciser quelles sont les « caractéristiques de l'AE », les « caractéristiques du client et compétences des opérateurs de mobilité électrique » et les « caractéristiques du territoire ». A cette fin, nous procédons à une modélisation de chacun des îlots et mobilisons ces représentations afin d'en illustrer la portée.

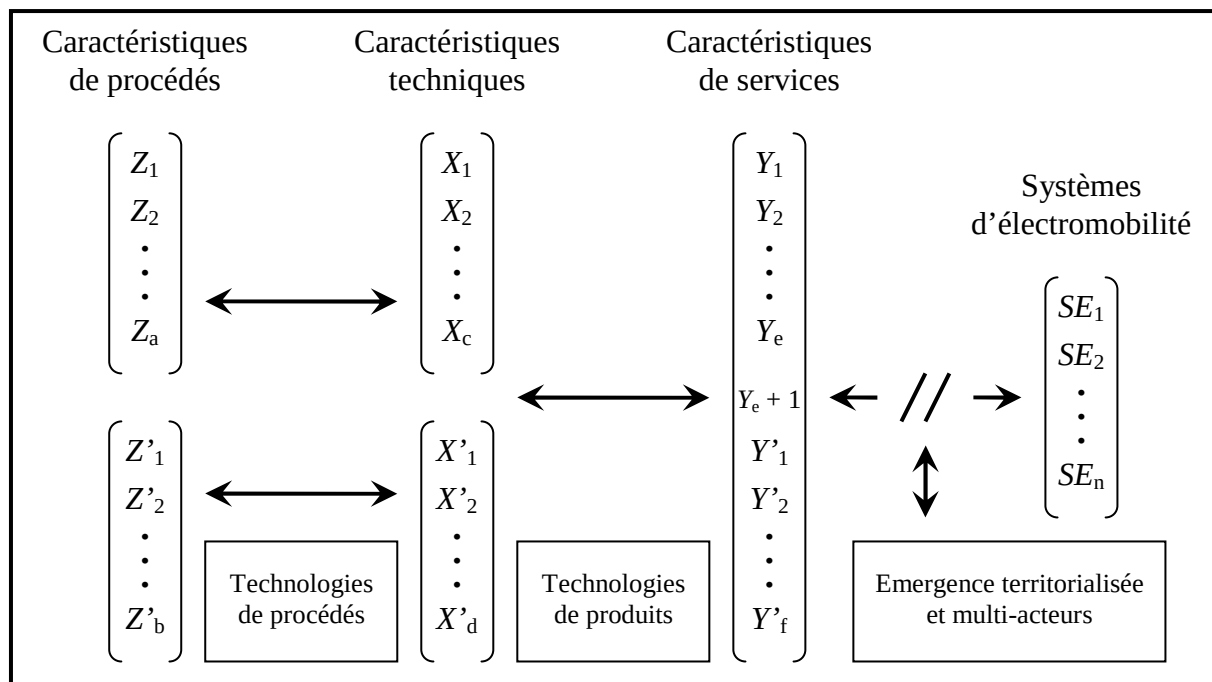
2.1. Représentation lancastérienne des « caractéristiques de l'AE ».

La représentation des vecteurs composants les « caractéristiques de l'AE » impose un détour théorique par les travaux précurseurs de Saviotti et Metcalfe (1984), de même que de Gallouj et Weinstein (1997). Chez les premiers, nous puisons une formalisation distinguant les caractéristiques de procédés, les caractéristiques techniques et les caractéristiques finales de services. Une telle représentation est primordiale pour saisir les conditions d'émergence d'un régime technologique alternatif appuyé sur l'AE, en ce sens qu'elle permet d'éclairer l'une des composantes du changement technologique, la modification de la physionomie des produits. Remarquons que nous nous situons ici dans la combinatoire des performances, au sens de Zimmermann (1995), c'est-à-dire celui d'un potentiel intrinsèque de la technologie, hors contexte d'utilisation, lequel à une influence sur la physionomie (le design) du produit.

Afin de dépasser le périmètre du seul secteur automobile et pour englober celui de la « trame » technologique et industrielle sur laquelle les stratégies des firmes investissant dans l'électromobilité s'élaborent, il convient d'enrichir le point de vue précédent par la prise en

compte d'innovations de nature « recombinate »¹⁵⁸. Nous devons cet apport et son adaptation au cadre lancastérien à Gallouj et Weinstein (1997), qui définissent les innovations recombinautes comme exploitant un potentiel tiré de la combinaison de caractéristiques techniques et finales de deux ou plusieurs biens ou services existants (**Annexe 39** : Innovations de nature recombinate et caractéristiques finales des produits, p.597). La représentation suivante (**Figure 60** : L'îlot des « caractéristiques de l'AE ») souligne la propriété combinatoire de l'AE, qui se concrétise notamment dans la dualité de la fonction de déplacement et la fonction de stockage d'électricité de l'AE (Cf. **Partie 2**).

Figure 60 : L'îlot des « caractéristiques de l'AE » :



Source : à partir de Saviotti et Metcalfe (1984) et de Gallouj et Weinstein (1997)

Au même titre que les caractéristiques techniques, les caractéristiques de procédés ($Z_1, \dots, Z_n$) sont des caractéristiques « internes » des produits. Elles renvoient essentiellement aux savoir-faire, méthodes et modes d'organisation mobilisés dans la production des biens. La prise en compte de ce paramètre est importante car l'AE demande la maîtrise d'un grand nombre de

¹⁵⁸ L'innovation « recombinate » fait écho aux « architectural innovations » (Henderson & Clark, 1990) et, dans le cadre de ce travail (Cf. **Partie 2**), aux « combinatorial innovations » (Varian et al., 2004).

champs techniques et scientifiques (Cf. **Partie 1**), orientant possiblement vers des modes de conception et de production singuliers. Deux axes se dégagent aujourd'hui sur les procédés employés pour la production des AE. Premièrement, certains « assembleurs » capitalisent sur les propriétés modulaires¹⁵⁹ de l'AE et agrègent des éléments dont la production et/ou la conception sont déléguées à des fournisseurs (**Annexe 40** : Fisker Karma : un puzzle modulaire et géographique, p.598), tandis que des « constructeurs », comme Tesla, développent des technologies en propre. Secondement, l'AE peut faire l'objet d'une conception *ad hoc*, ou bien s'envisage dans une logique d'« électrification », c'est-à-dire de substitution de la chaîne de traction par thermique par la chaîne de traction électrique, en maintenant la même architecture technique. Dans ce cadre, une AE est produite sur les mêmes chaînes de production, à l'image de la Renault Zoé, à l'usine de Flins. Lorsqu'il est structurellement repensé, l'AE peut notamment s'équiper de moteur-roue, entraînant une révision radicale de son design.

Dans le prolongement de procédés de production pluriels, qui soulignent l'absence d'un *dominant design* (Utterback et Abernathy, 1975), on note la richesse des caractéristiques techniques ($X_1, \dots, X_c$). Elles renvoient notamment aux technologies de la motorisation et aux couples électrochimiques de la batterie. Toutefois, une dimension novatrice de l'AE repose sur sa faculté de combiner des technologies provenant d'univers distincts et d'être en mesure d'offrir, par-là, des fonctionnalités (ou caractéristiques finales de service – $Y_1, \dots, Y_e, \dots, Y_f$) étendues ou augmentées à l'égard de la motorisation thermique usuelle. Cette propriété, l'AE la doit à l'Internet embarqué et à sa capacité à faire système avec les *smart grids*, qui lui permettent de proposer une fonction de stockage de l'électricité, en sus d'une fonction de

¹⁵⁹ Le véhicule thermique et son homologue électrique reposent sur des architectures techniques distinctes. Le premier est bâti sur une architecture « intégrée », au sens où il n'y a pas de correspondance étroite entre les fonctions du système et ses parties élémentaires constitutives (Simon, 1962 ; Schilling, 2000). *A contrario*, l'AE s'appuie sur une base « modulaire » (Freyssenet, 2011), pour laquelle l'identité entre composants (batterie d'accumulateurs, moteur électrique et électronique de puissance) et fonctions est prononcée.

déplacement. Bien entendu, les caractéristiques de services rendus à l'utilisateur s'avèrent plus vastes que cette assertion ne le laisse penser (**Annexe 41** : L'îlot des « caractéristiques de l'AE » : illustrations et exemples, p.599).

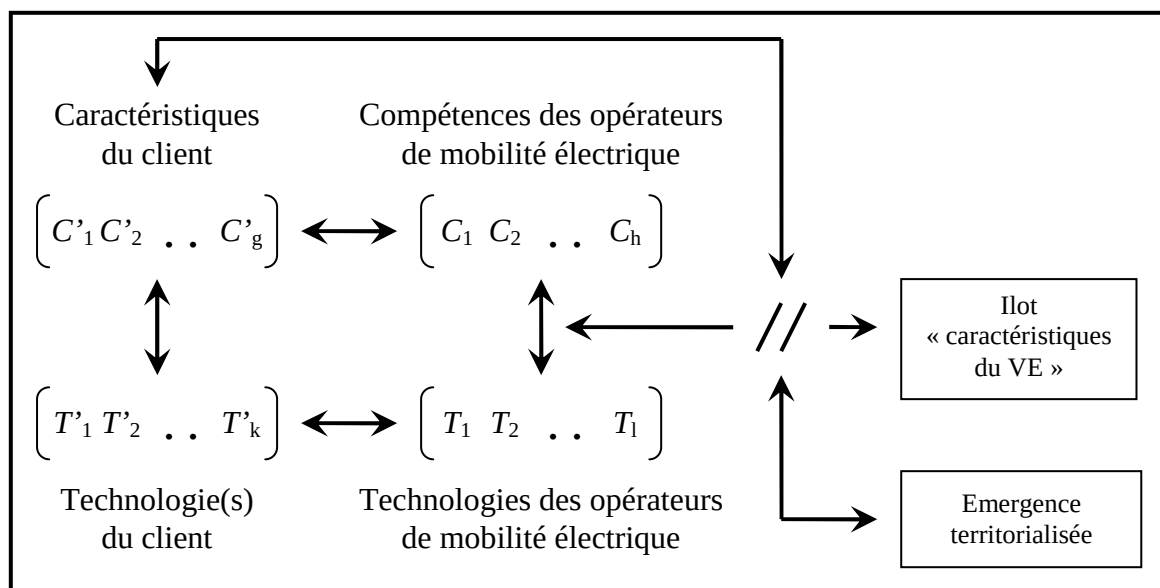
L'ensemble des caractéristiques finales de services forme un potentiel de configurations dont les combinaisons des caractéristiques techniques deux à deux spécifiques vont façonner des AE au contenu adapté aux quatre modèles d'électromobilité identifiés. Dans cette mesure, pour replacer l'AE dans son contexte d'émergence, il nous faut ouvrir le spectre de l'analyse et dériver depuis les combinatoires technologiques et des performances vers la combinatoire des caractéristiques d'utilisation, selon la typologie de Zimmermann (1995). Rappelons que cette dernière « contextualise » le produit en analysant les modalités d'usage et de valorisation des produits. L'enjeu est de saisir la manière dont l'AE s'inscrit dans les territoires et, en première maille, dans les comportements de déplacement des usagers, particuliers ou professionnels, ainsi que dans les stratégies des industriels. Pour cela, nous précisons les composantes et les vecteurs compris dans de l'îlot « caractéristiques du client ».

2.2. Représentation lancastérienne des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique ».

Les vecteurs composant les « caractéristiques du client », ainsi que leur logique d'articulation, ont d'ores et déjà fait l'objet de précisions plus en amont de notre travail. Nous mettons alors en évidence que le déterminisme technologique implicitement véhiculé par la représentation de Saviotti et Metcalfe (1984) s'adapte mal à l'émergence contemporaine de l'électromobilité, dont la nature servicielle transparaît notamment par le biais de l'apparition des opérateurs de mobilité électrique et des agrégateurs de charges. Pour

ces derniers, les caractéristiques des clients, en termes de temporalité d'usage et, plus généralement, de comportement de déplacement sont – en effet – prégnantes pour la physionomie des services offerts. Afin de modéliser cette configuration, nous recourons aux travaux de Gallouj et Weinstein (1997) qui, les premiers, ont modélisé les innovations de service, en identifiant des compétences propres aux prestataires de service et des compétences propres aux clients. Au-delà, nous avançons qu'il est nécessaire de basculer d'une implication du client à une production partagée des caractéristiques finales de service entre le client et le prestataire, notion pour laquelle De Vries (2006) apporte des outils pertinents. Précisons désormais quelle est la nature des vecteurs de l'îlot « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » (**Figure 61** : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique »), dans le souci d'affiner notre modélisation et de lui permettre de saisir toutes les subtilités et les configurations associées à l'émergence de l'électromobilité contemporaine.

Figure 61 : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » :



Source : à partir de Gallouj et Weinstein (1997) et de De Vries (2006)

Rappelons que les caractéristiques du client font essentiellement référence à la connaissance *ex-ante* et au caractère répétitif des parcours (**Annexe 42** : L’îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : illustrations et exemples, p.600), tandis que le périmètre des compétences des opérateurs de mobilité est plus complexe à circonscrire. Si nous avons déjà distingué les agrégateurs de charges – optimisant et/ou valorisant les cycles de charge et décharge de l’AE – et les opérateurs de mobilité électriques, dont l’objet est d’offrir une prestation forfaitaire de mobilité visant à gérer l’autonomie des AE et d’en flexibiliser l’utilisation (**Cf. Partie 2**), sur ce marché à la fois naissant et novateur, nous identifions également d’autres acteurs. Il s’agit notamment de fournisseurs d’applications en ligne abreuvant l’usager en informations pour faciliter sa mobilité [électrique], notamment en recensant les points de charge pour les utilisateurs d’AE (*ChargeMap, GoogleMaps*). Ces informations sont accessibles à bord de l’AE, via une interface multimédia, ou bien à partir de technologies connectées (*smartphone*, etc.), à la croisée des technologies du client et de celles des opérateurs [1] (Cf. De Vries, 2006). Dans le modèle « multifaces », les temporalités d’usage et les technologies des clients conditionnent les périodes durant lesquelles l’AE est en mesure de stocker de l’électricité, de sorte que clients et prestataires co- façonnent les caractéristiques finales de service.

Dans une configuration alternative, l’intermédiation technologique peut se limiter aux technologies des opérateurs, dont le cas archétypal est le modèle « bouquet », dans lequel les clients investissent une AE disponible sur le mode de l’autopartage, grâce à une interface propre à un opérateur de mobilité électrique, sur l’exemple du service *Autolib’* parisien [2]. Finalement, l’utilisation de l’AE peut s’affranchir de l’intermédiation technologique, lorsque les caractéristiques de l’usager se superposent aux performances de l’AE. Cet état singularise les modèles « substitution », faits de déplacements courts ou moyens et prédéfinis (**Annexe**

43 : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : agent révélateur des modèles d'électromobilité, p.601). Remarquons que la séquence dénuée d'intermédiation technologique rend également compte des innovations sociales, renvoyant notamment aux cas où les usagers font le choix de modifier leurs comportements de déplacement pour les adapter aux propriétés de l'AE, comme le fait de rationaliser leurs déplacements.

Nous l'avons vu à maintes reprises, les contextes d'action et, plus généralement, le cadre d'usage de l'électromobilité sont essentiels pour valider les modèles d'électromobilité qui se situent à la base d'un renouvellement du système sociotechnique automobile. Au-delà des propriétés intrinsèques de la technologie, des recompositions (inter)sectorielles induites et des comportements (de déplacement) des usagers, c'est bien la manière dont l'ensemble de ces éléments s'enchaînent et s'ajustent dans des creusets territoriaux, aux propriétés et aux potentialités propres, que se forment les conditions de l'émergence et de la diffusion d'un bien-système territorialisé, tel que l'AE.

2.3. Représentation lancastérienne des « caractéristiques du territoire ».

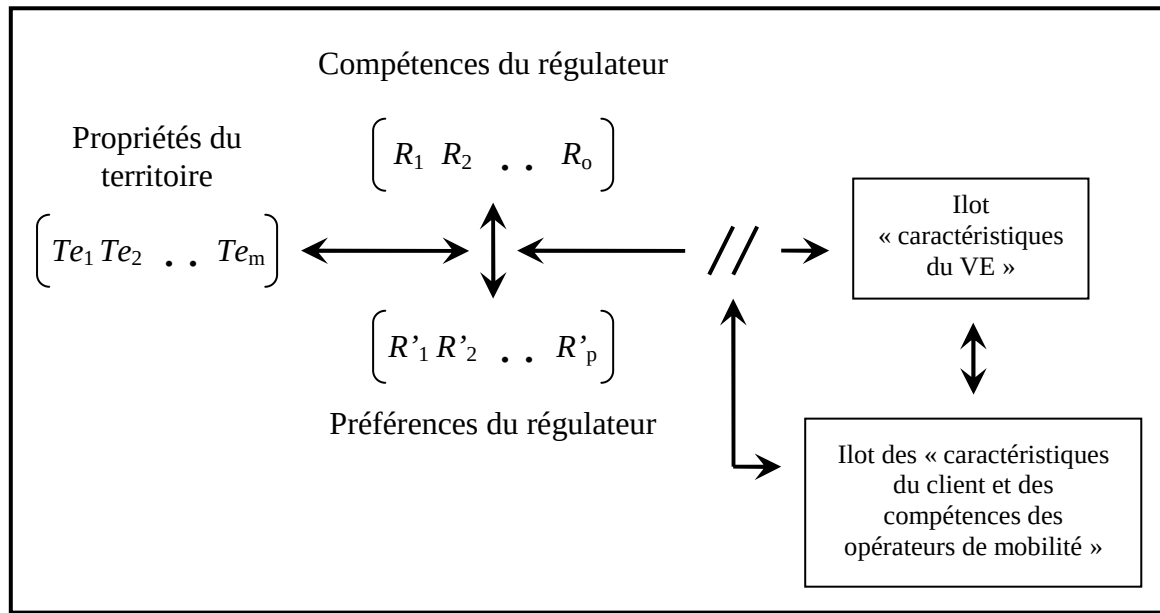
Au fil des développements de la **Partie 3**, nous nous sommes attachés à montrer en quoi l'émergence de l'électromobilité est éminemment territorialisée. Cette dimension spatiale n'est pas seulement utile à la compréhension de la dynamique d'émergence et de diffusion de l'AE, mais nécessaire à l'appréhension pleine et entière des mécanismes en jeu. La « couche territoriale » réintroduit, en effet, l'AE dans son cadre d'usage et module, sinon valide les physionomies d'émergence de celui-ci à trois niveaux.

En premier lieu, l'introduction d'un régulateur public enrichit la perspective lancastérienne car la sphère politique façonne radicalement l'environnement de sélection des innovations (Windrum et García-Goñi, 2008). Outre d'avoir les moyens de proposer directement une prestation de mobilité en concertation avec un opérateur de mobilité électrique, dans le cadre du modèle « bouquet », le régulateur peut inciter ou limiter la survenue d'innovation en produisant des biens complémentaires. En capitalisant sur les propriétés systémiques de l'AE, le régulateur peut mettre en place un réseau de bornes de recharge publique – et/ou inciter au déploiement d'un réseau de bornes privées. Suivant les compétences revenant à chacune des strates administratives¹⁶⁰ et suivant leurs velléités respectives, composant les vecteurs « compétences du régulateur » et « préférences du régulateur », de nombreuses autres mesures favorisant l'AE peuvent être identifiées (**Figure 62** : L'îlot des « caractéristiques du territoire »). A l'échelon international, nous songeons à la normalisation des prises de recharge et des technologies – en termes de courant continu ou alternatif – de recharge. Le niveau national a notamment traité aux politiques de subventionnement à l'achat d'AE ou de l'électricité issue des EnR, tandis que la mise en place d'un réseau de bornes de recharge publiques s'envisage souvent à l'échelon territorial. La compétence locale se manifeste notamment dans la mise en place de *Low Emission Zones*¹⁶¹, ainsi que dans le subventionnement des AE à l'usage (stationnement et recharge gratuits). Notons que la cohérence et la compatibilité des mesures prises à chaque échelon décisionnel sont primordiales pour l'émergence de l'électromobilité, car elles participent du processus de désalignement-réalignement des composantes du régime sociotechnique.

¹⁶⁰ En France, on distingue communément l'Union européenne pour l'échelon international, l'Etat pour le niveau national, les Régions et les Départements à l'échelle territoriale et les communes et communautés de communes à l'échelon local.

¹⁶¹ Une *Low-Emission Zone* (LEZ) est une zone géographiquement délimitée à l'intérieur de laquelle les véhicules particuliers et professionnels sont discriminés en fonction de leurs niveaux de pollution, dont l'unité de mesure est l'émission en CC₂ ou, dans de rares cas, les émissions en particules fines). Dans une LEZ, le législateur cherche à restreindre ou à empêcher l'accès aux véhicules les plus polluants et à favoriser les véhicules à faibles émissions, dans le but d'améliorer la qualité de l'air. Une LEZ peut prendre de multiples formes, depuis le péage urbain londonien à l'interdiction administrative de circulation pour certains véhicules. Pour un recensement exhaustif et structuré, se rapporter à Proag (2011).

Figure 62 : L'îlot des « caractéristiques du territoire » :



Source : à partir de Gallouj et Weinstein (1997) et de Windrum et García-Goñi, 2008

En deuxième lieu, la prise en compte du cadre d'usage des technologies parachève notre appréhension de l'émergence territorialisée des bien-systèmes. Il revient à Secomandi et al. (2008) d'avoir opéré le croisement entre l'approche lancastérienne et la nature située de la fonctionnalité des biens, qui se concrétise dans l'ajout d'un vecteur « propriétés du territoire ». Ces critères n'ont pas uniquement trait aux propriétés géographiques du territoire, mais également à la densité des infrastructures, de plusieurs natures (routières, énergétiques, télécoms,...), qui le maillent, ainsi qu'au contexte culturel (**Annexe 44** : L'îlot des « caractéristiques du territoire » : illustration et exemples, p.602).

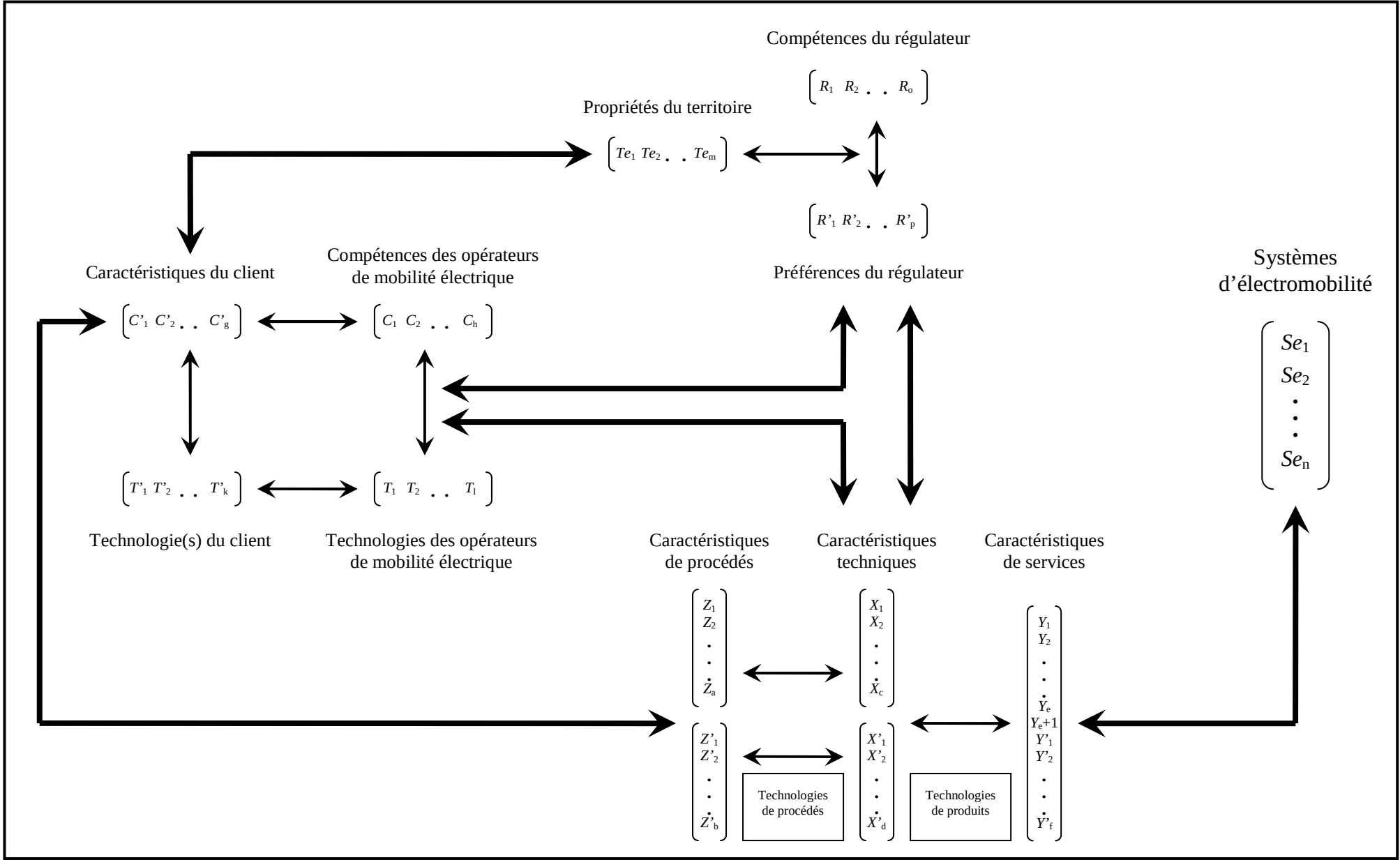
En troisième lieu, la « couche territoriale » apporte de l'épaisseur aux « caractéristiques du client », ainsi qu'aux « caractéristiques de l'AE » et en révèle les aspérités. Du point de vue des « caractéristiques de l'AE », le lien au territoire contraste en fonction des modèles d'électromobilité. Dans le modèle « multifaces », le *mix* énergétique et la fragilité des réseaux énergétiques, sur l'exemple de la Californie, conditionnent l'intérêt fonctionnel et

financier de la propriété de l'AE à constituer une interface ponctuelle de stockage d'électricité, issue de filières renouvelables. Dans le modèle « bouquet », le maillage du territoire en infrastructures routières et ferroviaires conditionne la pertinence de l'offre d'intermodalité et de multimodalité dans lesquelles l'autopartage s'inscrit le plus souvent. Du point de vue des « caractéristiques du client », le lien au territoire se forge notamment dans l'intentionnalité et la finalité des déplacements. Dans les modèles « substitution », nous avons ainsi vu que les trajets de type « pendulaire », réguliers, de courte distance et rigides, s'adaptent mieux à l'électromobilité que les trajets de type « loisirs », moins homogènes (Cf. **Partie 2**).

En amont de cette **Partie 3**, nous avançons que l'émergence et la diffusion de l'AE n'est pas soumise à un déterminisme institutionnel, bien que les institutions formelles et informelles orientent sa destinée. *A contrario*, il nous semble que l'émergence de l'AE est territorialement déterminée, en ce que les propriétés infrastructurelles, géographiques, politiques, institutionnelles et culturelles propres aux territoires influencent décisivement les modalités et la physionomie d'émergence des systèmes d'électromobilité. Pour mieux comprendre ces mécanismes, nous proposons d'évoluer d'une réflexion par « îlots de caractéristiques » à une appréhension globale de la problématique, qui envisage la « combinabilité » des caractéristiques en dynamique. Ce changement d'échelle a deux prolongements. D'une part, il met en cohérence la réalité structurelle du système sociotechnique, dans ses fondements tout à la fois techniques, économiques et stratégiques. D'autre part, il permet de souligner quelle est la mise en œuvre effective des combinaisons technico-économiques, parmi l'ensemble des possibles, ainsi que leur logique d'articulation. A partir de la représentation générale des systèmes d'électromobilité (**Figure 63** : Représentation générale de l'émergence des systèmes d'électromobilité), nous allons

distinguer les séquences combinatoires relatives à chacun des quatre modèles d'électromobilité identifiés et valider, par-là, l'hypothèse d'une diffusion de l'AE par capillarité.

Figure 63 : Représentation générale de l'émergence des systèmes d'électromobilité :



Source : Représentation de l'auteur

3. Une dynamique d'émergence et de diffusion de l'électromobilité par capillarité.

Le croisement que nous avons opéré entre l'approche lancastérienne et la perspective multi-niveaux (Geels, 2002) aboutit à une représentation globale de l'émergence des systèmes d'électromobilité, qui permet de placer l'emphasis sur les composantes essentielles du système sociotechnique régissant les conditions d'émergence et de diffusion de l'électromobilité et, partant, de l'AE. Sur cette base, nous bénéficions d'une lecture enrichie de l'émergence de l'AE vis-à-vis de l'interprétation par les seuls outils de la perspective multi-niveaux, à savoir le processus de désalignement-réalignement à partir du concept de niches de marché. Cette lecture additionnelle consiste à préciser les combinaisons des composantes, leur séquençage en fonction des modèles d'électromobilité et d'envisager plus finement la problématique de la diffusion de l'AE. En effet, l'apparition de ces modèles contribue à reconfigurer les structures économiques, à remodeler les institutions et à transformer les préférences et les compétences des parties prenantes. Nous analysons ainsi la dynamique d'émergence et de diffusion de chacun des modèles archétypaux d'électromobilité identifiés, en prenant soin de dégager les canaux par lesquels ces processus transitent.

L'approche en dynamique formée du séquençage des combinaisons et de l'analyse des recompositions combinatoires nous permet d'appréhender et de valider l'hypothèse d'une diffusion de l'AE par capillarité à partir de modèles archétypaux d'électromobilité dont l'émergence est territorialement déterminée. Les canaux par lesquels la diffusion par capillarité transite relèvent essentiellement d'effets directs et indirects de réseau (Katz et Shapiro, 1985), lesquels sont territorialisés et proviennent des trois « îlots » composant les

systèmes d'électromobilité. Précisons que ces modifications peuvent affiner et verrouiller les modèles d'électromobilité identifiés ou, au contraire, modifier leur nature.

3.1. Les modèles « substitution » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité.

Les modèles « substitution » sont des modèles d'adaptation *ex-ante* des usages automobiles aux propriétés technologiques de l'AE. Ils germent, en effet, sur la base d'une adéquation spatiale et temporelle du couple composé des propriétés du territoire et des caractéristiques des clients – héritées du système de mobilité associé au véhicule thermique – avec les performances de l'AE. Concrètement, les modèles « substitution » puisent essentiellement leur origine dans la correspondance entre les mobilités pendulaires – que l'agencement du territoire et sa densité en infrastructure de charge vont privilégier ou non – et le rayon d'action ainsi que les « temporalités de l'AE », c'est-à-dire la durée de charge.

En termes de séquençage, plusieurs effets indirects de réseau se cumulent et s'entretiennent pour contribuer à une émergence territorialisée et une diffusion par capillarité des modèles « substitution ». Au premier chef, le choix d'adopter l'AE par une partie des agents provoque une augmentation du nombre des bornes de recharge dans leur environnement proche, qu'elles soient privées – dans les habitations collectives et les entreprises – ou publiques, en particulier par la voie législative¹⁶². A cette première étape, susceptible d'engendrer un effet d'entraînement à mesure que le nombre d'utilisateur s'accroît, s'ajoutent des biens et des services complémentaires. Il s'agit notamment du développement et de la généralisation des

¹⁶² Au moins deux variantes d'infrastructure de charge publique sont identifiables (Schwartz, 2011). Il s'agit d'une infrastructure ciblée rassurant les utilisateurs quant à leurs besoins de charge secondaires. Ces bornes d'appoint sont surtout installées dans les parkings publics. Une infrastructure publique généralisée couvrant tous les besoins des utilisateurs est le second pendant. Ces bornes sont installées en voirie et dans tous les parkings.

offres des opérateurs de mobilité électrique venant flexibiliser l'usage de l'AE par la superposition de couches de services grâce aux TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), souvent à partir de contraintes propres au territoire, à l'image des cas californien et israélien (Cf. **Chapitre 2**). A plus long terme, au-delà des performances du couple formé par l'AE, son infrastructure de charge et leur interaction, les caractéristiques de l'AE, elles-mêmes, peuvent évoluer. Le compromis entre la capacité de stockage et la durée de charge des batteries d'accumulateurs, voire la modification du couple électrochimique, découleront de l'appropriation de l'électromobilité par les particuliers et les professionnels, à partir des modalités identifiées sous le vocable de modèles « substitution ». Les innovations de procédé et de produit doivent ainsi s'inscrire dans un écosystème complet devant les mettre en valeur.

En dynamique, les modèles « substitution » apparaissent ainsi comme des modèles d'adaptation *ex-post* des performances du bien-système AE aux usages de l'électromobilité. Avec l'atteinte d'une taille critique d'utilisateurs, l'AE bénéficie du déploiement de biens (bornes) et services (application) complémentaires entraînant des rendements croissants d'adoption et concourant à l'inscrire dans deux trajectoires non exclusives l'une de l'autre. D'une part, la supériorité et la domination de l'AE sur son homologue thermique dans les niches de marchés correspondant aux modèles « substitution » sont susceptibles, à terme, de ne plus être remise en cause. La base installée d'AE, suivant son importance, constitue alors un relais de croissance se concrétisant dans l'apparition de biens et services complémentaires toujours plus nombreux et optimisés venant flexibiliser l'usage de l'AE, qui s'ouvre à des utilisations moins contraignantes, si bien que d'une substitution limitée à quelques usages spécifiques et territorialisés, l'AE serait voué à s'émanciper et à contester la dominance de la base installée du véhicule thermique dans tous les compartiments du marché.

La diffusion par capillarité des modèles « substitution », c'est-à-dire l'extension à des territoires satellites géographiquement contigus par rapport à un territoire originel, transite ainsi expressément par les usages.

3.2. Le modèle « bouquet » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité.

Le modèle « bouquet » est un modèle dans lequel un régulateur proactif propose un système de transport complémentaire à son offre de transports initiale, ou impulse une incitation de nature financière (fiscale) ou législative pour le développement de flottes d'AE d'entreprises en partage, s'inscrivant dans les Plans de Déplacements Entreprise (PDE) ou les Plans de Déplacements Inter-Entreprises (PDIE). L'émergence de ce modèle est adossée aux propriétés du territoire, en termes de densité de population, de densité d'entreprises et de modes de transport alternatif. Concrètement, la gestion du système est déléguée à un opérateur [de mobilité électrique] privé, public ou à une régie mixte, dont l'objectif est de maximiser l'utilisation du VE.

La dynamique de diffusion du modèle « bouquet » est à relier aux propriétés de l'AE, qui se singularise par un coût d'usage dérisoire. Ce faible coût marginal induit l'expansion des systèmes d'AE en partage aux territoires satellites et/ou aux autres firmes d'un bassin d'activité car le coût moyen de production du service [de mobilité] est décroissant avec le nombre d'utilisateurs. A terme, cette dynamique peut aboutir à un avantage comparatif pour le territoire. Le découpage séquentiel de l'émergence et de la diffusion du modèle « bouquet » permet de dégager l'impact d'effets indirects de réseau qui ont trait aux couches de services apportées par les opérateurs de mobilité électrique visant, en particulier à maximiser

l'utilisation des AE, à favoriser l'intégration de l'AE dans les bouquets de transport existants et ainsi à faire évoluer les comportements des usagers vers des déplacements multimodaux et intermodaux. Egalement, le design des AE peut se renouveler et s'adapter au format de l'autopartage¹⁶³, plaidant pour la généralisation du principe à tous les territoires partageant les caractéristiques favorables au modèle « bouquet », à l'image du système Autolib' qui, après avoir investi la région parisienne en 2011, se décline à l'identique à Lyon en 2013.

La diffusion par capillarité du modèle « bouquet », c'est-à-dire l'extension à des territoires satellites géographiquement contigus par rapport à un territoire originel, transite ainsi expressément par les coûts.

3.3. Le modèle « multifactes » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité.

Le modèle « multifactes » est un modèle dans lequel l'AE s'envisage comme le maillon du système énergétique territorial, dont l'émergence est conditionnée par les opportunités offertes par les infrastructures énergétiques et électriques territoriales. La recherche d'effets combinatoires entre les technologies constitue ici une propriété essentielle du processus de valorisation du potentiel technologique de l'AE. Plus que dans l'adéquation des propriétés de l'AE aux propriétés des territoires, le modèle « multifactes » se fonde dans leur fertilisation croisée. Concrètement, en stockant momentanément l'électricité produite par les sources d'énergie renouvelables (EnR)¹⁶⁴, l'AE contribue amplement à rentabiliser ces solutions et

¹⁶³ Certains constructeurs proposent déjà des AE spécifiquement conçues pour l'autopartage (Heuliez, FAM). Au-delà, des firmes innovent pour faciliter l'exploitation des flottes en partage, à l'image de la borne de recharge multi-fonctions *Modulowatt* de l'entreprise éponyme, nécessitant des AE équipées d'un système d'accroche automatisé aux bornes et aux autres AE d'une flotte, pour permettre une recharge en série.

¹⁶⁴ Rappelons que les EnR comprennent le photovoltaïque, l'éolien, ou encore l'hydro-électricité.

ainsi à assurer une transition énergétique douce. En retour, les agrégateurs de charges dégagent un revenu du stockage d'électricité entraînant un mécanisme de subventionnement croisé de l'AE. L'une des conditions *sine qua non* est néanmoins la diffusion des réseaux de distribution rendus intelligents par l'ajout de technologies informatiques (*smart grids*), agissant en tant que « technologies d'architecturation », au sens de Zimmermann (1995), c'est-à-dire réalisant la mise en oeuvre de la combinatoire technologique. Or, la vitesse de diffusion des *smart grids* est dictée par la stratégie des distributeurs d'électricité et celle des pouvoirs publics.

En termes de séquençage dynamique, le modèle « multifactes » se décline à deux échelles. Leur dénominateur commun est l'exploitation de nouvelles fonctionnalités grâce au potentiel technique de l'AE. A l'échelle du territoire, l'existence préalable de sources d'électricité renouvelables et la mise en place des *smart grids* valident la diffusion de l'AE et sa co-évolution avec les EnR (Cf. **Partie 1**). A l'échelle individuelle, de l'habitation ou de l'usine, dans le même creuset territorial, les nouvelles applications et fonctionnalités initiées par les opérateurs de mobilité électrique et par les agrégateurs de charges dérivent de la gestion des réseaux énergétiques à la gestion des réseaux électriques. En effet, l'AE est susceptible de stocker momentanément de l'électricité et d'alimenter les équipements électroménagers du foyer ou l'équipement informatique et les machines des bureaux et usines. A terme, l'AE pourra être la composante centrale d'un procédé d'optimisation des consommations – voire des productions – d'électricité à l'échelle de l'habitation et/ou de l'établissement, à l'image d'une pile à combustible. Gageons néanmoins que de manière transversale, les opérateurs situés à l'interface des utilisateurs – particuliers ou professionnels – de l'AE et des distributeurs d'électricité devront veiller à l'adéquation entre les temps sociaux et les temps de charge de l'AE, car une AE en charge ne peut, par définition, pas se déplacer.

La diffusion par capillarité du modèle « multifaces », c'est-à-dire l'extension à des territoires satellites géographiquement contigus par rapport à un territoire originel, transite ainsi expressément par les fonctionnalités, à la base d'un effet système intersectoriel. La genericité de l'AE, c'est-à-dire sa capacité à se combiner à d'autres technologies est ici prégnante, bien que ce potentiel se manifeste à partir de propriétés géographiques, infrastructurelles et politiques territorialisées.

Chacun des modèles archétypaux d'électromobilité identifiés fonde ainsi son émergence et sa diffusion sur des critères distincts. Les usages, les coûts et les fonctionnalités, dans des configurations territorialisées, sont respectivement les canaux privilégiés des niches de marché de l'AE susceptibles, au gré de leur imprégnation dans le système et dans le régime sociotechniques, d'accéder à des parts de marché automobile conséquentes et de contester l'hégémonie de son homologue thermique.

Conclusion du Chapitre 2.

Dans ce **Chapitre 2**, nous avons voulu synthétiser et rationaliser la dynamique d'émergence et de diffusion territorialisée de l'électromobilité. A cette fin, nous avons disséqué les systèmes d'électromobilité et, pour cela, avons puisé dans les travaux de Lancaster (1966) les outils nous permettant de représenter les mécanismes à l'œuvre de manière simplifiée, mais rigoureuse et exhaustive. A partir de l'approche lancastérienne et d'une introduction aux « *characteristics-based models* » qui en découlent, nous sommes parvenus à élaborer un cadre d'interprétation des systèmes d'électromobilité susceptible de rendre compte des interactions entre les multiples parties prenantes identifiées et qui soulève certaines questions de stratégie et d'organisation industrielles, technologiques, politiques et territoriales. Cette représentation

fait étalage de sa flexibilité pour appréhender et retranscrire les dynamiques d'émergence territorialisée et de diffusion par capillarité de nos quatre variations sur le thème de l'électromobilité.

L'approche lancastérienne prend la forme d'une critique de la théorie néoclassique qui, contrainte par l'hypothèse d'homogénéité des biens, n'était pas outillée pour mesurer les effets de la survenue d'innovations sur l'offre et la demande formulées sur le marché. Afin de combler ces carences, Lancaster (1966) développe une analyse s'écartant de l'approche traditionnelle qui considère les biens comme les objets directs de l'utilité et avance que les biens disposent de caractéristiques objectivement mesurables et que ce sont ces caractéristiques, plus que les biens eux-mêmes, qui sont les arguments des fonctions d'utilités (Archibald et Rosenbluth, 1975). Dans le prolongement, le consommateur ne recherche plus un bien, mais le ou les service(s) ou fonctionnalité(s) qu'un bien est susceptible de lui rendre (Mollard et al., 2005). Cette trame lancastérienne est mise à profit par les « characteristics-based models » qui l'ajustent, par touches successives, à des situations plus complexes que le modèle originel. Les « characteristics-based models » envisagent ainsi l'innovation comme « une dynamique des caractéristiques, qui s'opère selon une arithmétique d'addition, de soustraction, d'association, de dissociation et de formatage des caractéristiques » (Djellal et Gallouj, 2012, p.88).

Les travaux précurseurs issus de cette lignée sont dus à Saviotti et Metcalfe (1984), ainsi qu'à Gallouj et Weinstein (1997). Ils s'avèrent progressivement enrichis et c'est ce filon que nous exploitons pour adapter graduellement la construction théorique proposée au cas des systèmes d'électromobilité. La visée théorique des réflexions de Saviotti et Metcalfe (1984) est d'insuffler une perspective évolutionnaire à l'approche de Lancaster. La démarche entreprise

est de saisir le changement technologique à l'échelle des produits industriels, en concevant les biens comme l'agrégation de caractéristiques de procédés, de caractéristiques techniques et de caractéristiques finales de service rendu. L'innovation, dont les auteurs distinguent la nature, se révèle alors dans de nouvelles combinaisons de caractéristiques. Une logique typologique prévaut également chez Gallouj et Weinstein (1997), qui élargissent l'outil aux innovations de service. Le modèle devient « intégré » est adapté au constat suivant lequel la frontière entre les biens et services s'estompe, puisqu'ils sont « de moins en moins vendus et consommés de manière indépendante, mais de plus en plus en tant que solutions, systèmes, fonctions » (Djellal et Gallouj, 2012, p.86). En tant que tel, le modèle de Gallouj et Weinstein compose l'armature principale de notre représentation de l'émergence des systèmes d'électromobilité. Dans cette configuration, les clients sont susceptibles de contribuer à l'élaboration d'une innovation de service, voire de la « co-produire » par la mobilisation de leurs propres technologies (téléphone mobile, ordinateurs personnels), en suivant De Vries (2006). Une dimension territorialisée est finalement insufflée par Windrum et García-Goñi (2008), qui soulignent le rôle essentiel du régulateur public dans les processus d'innovation et dérivent – par-là – sur l'analyse des interactions entre les sphères économique, sociale et politique façonnant l'environnement de sélection des innovations, ainsi que par Secomandi et al. (2008), lesquels se focalisent notamment sur l'importance du cadre d'usage des technologies dans la validation de leurs fonctionnalités.

En nous appuyant sur les « characteristics-based models », nous sommes parvenus à une schématisation combinant et amalgamant trois « îlots de caractéristiques », dont les interactions façonnent les systèmes d'électromobilité. Le premier îlot aborde la question des « caractéristiques de l'AE » et apparaît dans une configuration apte à saisir la modification en dynamique de la physionomie des produits et de leurs fonctionnalités, ainsi que susceptible

d'intégrer les innovations de nature recombinate, c'est-à-dire exploitant un potentiel tiré de procédés de production et de technologies situés en dehors du périmètre usuel du secteur automobile. Les autres îlots s'inscrivent dans une perspective de valorisation de l'AE en termes de caractéristiques d'utilisation, d'une part, et de contextes d'action, d'autre part. En premier lieu, l'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » renvoie à la nature servicielle de l'électromobilité contemporaine en adossant potentiellement un opérateur de mobilité électrique ou un agrégateur de charges aux déplacements des automobilistes. Outre le type de prestation, la nature de l'intermédiation technologique entre ces entités est variable, richesse que notre modèle parvient à retranscrire. En second lieu, l'îlot des « caractéristiques du territoire » insiste sur le cadre d'usage de l'AE et prend en considération la sphère politique par le biais des différentes strates administratives et de leurs aspirations respectives, ainsi que les caractéristiques géographiques, infrastructurelles et culturelles territoriale, qui conditionnent amplement les verrous et les opportunités liés à l'électromobilité. Plus globalement, c'est dans la manière dont l'ensemble de ces îlots s'enchâssent et s'ajustent que se forment les conditions de l'émergence et de la diffusion d'un bien-système territorialisé, tel que l'AE.

De manière complémentaire au processus de désalignement-réalignement des composantes du régime sociotechnique propre à la perspective multi-niveaux (Geels, 2002), que nous avons détaillé préalablement, le séquençage de l'émergence des quatre modèles d'électromobilité a permis de placer l'emphasis sur les éléments essentiels des systèmes sociotechniques régissant les conditions d'émergence et de diffusion de l'électromobilité et, par-là, de l'AE. Au titre des résultats, nous avons montré que :

Les séquences d'émergence sont propres à chacun des modèles d'électromobilité. Les modèles « substitution » s'inscrivent dans une continuité des critères d'usage vis-à-vis du

système de mobilité dominant, tandis que les modèles « bouquet » et « multifactes » se fondent sur une discontinuité en termes de fonctionnalités.

Le territoire, à travers ses propriétés géographiques, institutionnelles, infrastructurelles et culturelles, influence décisivement les modalités et la physionomie d'émergence des systèmes d'électromobilité.

L'influence du territoire ne s'arrête pas à la question de l'émergence des systèmes d'électromobilité, mais s'impose également à celle de leur diffusion, sous la forme d'une diffusion par capillarité, c'est-à-dire une extension géographique à des territoires satellites.

Les canaux par lesquels la diffusion par capillarité transite relèvent essentiellement d'effets directs et indirects de réseau territorialisés, forgeant probablement une singularité des bien-systèmes territorialisés. En particulier, l'apparition de biens complémentaires – telles que les bornes de recharge – et de couches de services, par les opérateurs de mobilité électrique, maximisent les performances du couple formé par l'AE et son infrastructure de charge.

Les canaux par lesquels la diffusion par capillarité transite diffèrent selon le modèle d'électromobilité analysé. Pour les modèles « substitution », qui germent dans le terreau d'une adéquation spatiale et temporelle des caractéristiques des clients et des propriétés du territoire aux performances de l'AE, les usages sont les vecteurs de l'émergence par capillarité. Pour le modèle « bouquet », le vecteur d'émergence par capillarité est le faible coût marginal d'utilisation de l'AE, entraînant la décroissance du coût moyen de production du service [de mobilité] avec le nombre d'utilisateurs. Pour le modèle « multifactes », dans lequel l'AE s'envisage comme le maillon du système énergétique – voire électrique – territorial, la recherche d'effets combinatoires initiant de nouvelles fonctionnalités pour l'AE constitue le vecteur d'émergence par capillarité.

Le potentiel de l'AE en termes de diffusion est difficile à établir puisqu'il dépend de l'horizon temporel privilégié et de l'importance des effets directs et indirects de réseau attisés

par la nature servicielle de l'électromobilité contemporaine. Du point de vue des modèles d'électromobilité identifiés, la réponse n'est guère plus tranchée, même si cette approche permet, sans nul doute, d'affiner les projections actuellement faites.

Conclusion de la Partie 3.

L'objectif assigné à cette **Partie 3** était d'améliorer notre compréhension de la dynamique d'émergence et de diffusion de l'électromobilité contemporaine et, partant, de l'AE. En cela, elle s'inscrivait dans la trame de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002) et dans le prolongement direct de l'analyse technico-économique de la **Partie 1**, ainsi que dans l'identification des quatre modèles-types de systèmes d'électromobilité, point d'orgues de l'analyse fonctionnelle de la **Partie 2**. En **Partie 3**, pour appréhender au mieux les phénomènes d'émergence et de diffusion territorialisés de l'AE, nous avons précisé le lien existant entre le territoire et l'innovation, à travers une revue de la littérature des approches institutionnalistes, puis croisé la problématique du « bien-système » avec celles du territoire, à partir du cas exemplaire de l'émergence d'une industrie de l'AE en Californie (**Chapitre 1**). Nous avons ensuite eu recours à la grille d'interprétation lancastérienne du bien-système territorialisé afin d'apporter un éclairage complémentaire sur les dynamiques contemporaines d'émergence et de diffusion de l'électromobilité (**Chapitre 2**). Cette démarche nous a permis d'aboutir respectivement à nombre de résultats et de valider nombre d'intuitions, sur lesquels nous proposons de revenir.

Le territoire, dans son rôle passif de creuset et dans son rôle actif de « matrice des processus d'innovation » (Massard et al., 2004), est le dénominateur commun de l'émergence et de la diffusion de l'électromobilité contemporaine. Plus précisément, le territoire régit et oriente amplement les rythmes, les modalités et les formes d'émergence de l'électromobilité, ce que notre étude du cas californien a illustré. Cet exemple, appuyé sur une analyse de l'émergence d'une industrie de l'AE sur longue période, a souligné le rôle des conditions de base en termes d'institutions formelles et informelles, à l'image d'une pression sociétale accrue pour des

modes de production et de consommation dits « soutenables », dans l'organisation de proximités se combinant effectivement sur ce territoire, lequel présente les caractéristiques d'un « *Cluster* » de Porter (1998) et probablement celles d'une « *Learning Region* », au sens de Florida (2005). En effet, si certains constructeurs automobiles ou opérateurs de mobilité investissent massivement dans l'électromobilité, notamment en écho aux promesses des technologies avancées de batteries d'accumulateurs, leurs stratégies commerciales sont souvent induites par les conditions infrastructurelles – au sens large du terme (infrastructures de recharge, énergétique, télécoms, etc.) – et réglementaires des territoires ciblés.

La clé de lecture privilégiée est l'approche institutionnaliste de l'économie du territoire, en particulier les processus de territorialisation initiés par Colletis et Pecqueur (1993 ; 2005). La littérature en économie associant territoire et innovation s'est étoffée durant les deux dernières décennies par le biais d'une prise en compte graduelle de l'importance du territoire dans les processus de création des technologies et dans l'émergence de ces dernières (Colletis, 2010). Progressivement, le territoire endosse le rôle concret, socialement organisé, d'acteur du développement économique (Bellet, 1992), en particulier grâce aux travaux sondant l'implication des institutions formelles et informelles dans les dynamiques territoriales, qui se placent sous la bannière de l'approche institutionnaliste. L'une de ses branches, analysant les processus de territorialisation (Colletis et Pecqueur 1993 ; 2005), s'est montrée avantageuse pour envisager l'émergence des bien-systèmes, ainsi que pour clarifier et développer la thèse de l'émergence et de la diffusion territorialisées de l'AE.

L'originalité et l'intérêt de la territorialisation à la Pecqueur et Colletis est de considérer que la technologie n'est pas posée au départ, mais définie « *ex-post* », en fonction de la capacité d'un territoire à faire exister des problèmes et des solutions productives, ou bien de se

reconfigurer et s'adapter pour susciter l'émergence d'une technologie, sur la base de ressources spécifiques. Pour appréhender les étapes et la nature de ces recompositions, les auteurs fondent une typologie en termes d'actifs et de ressources territoriaux, respectivement génériques ou spécifiques. Si les actifs et ressources génériques ne tirent pas leur valeur de la participation à un processus de production donné, ne sont pas adossés à une technologie particulière et ne contribuent pas à la dominance d'un quelconque régime technologique ou sociotechnique, les actifs et ressources spécifiques tirent leur valeur de leurs conditions d'usage et contribuent, par-là, à un phénomène de verrouillage sur les régimes dominants. Le caractère générique ou spécifique des actifs et ressources territoriaux n'est pas immuable et évolue au gré de la maturation des territoires selon deux séquences intitulées « activation des ressources » et « spécification d'actifs génériques », qui structurent notre acception du cheminement d'émergence de l'électromobilité.

Dans le sillage de la perspective multi-niveaux, une logique de « désalignement » et de « réalignement » (Geels et Schot, 2007) des composantes du régime sociotechnique dominant est à l'origine de l'émergence de l'électromobilité. De manière singulière, y compris dans la littérature, le territoire en est le vecteur. L'approche par l'« activation des ressources » – à travers laquelle les ressources latentes du territoire se concrétisent – et par la « spécification d'actifs (génériques) », concourant à bâtir un avantage différentiel territorial en termes de croissance économique ou de valorisation des technologies, constituent un agent clarificateur de la mutation du régime sociotechnique. Cette lecture nous permet, en effet, de préciser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions dudit régime, à travers une démarche séquencée. En premier lieu, nous avons décrit le phénomène d'alignement qui amalgame les composantes des régimes sociotechniques institués et qui façonne un régime d'usage des technologies créant des pesanteurs, une dominance et un « verrouillage ». En deuxième lieu,

nous avons évoqué le phénomène de désalignement, qui renvoie aux conditions du « déverrouillage », c'est-à-dire du basculement vers un système sociotechnique alternatif, à partir d'une phase de normalisation ou de « généricisation » des actifs et ressources territoriaux. Enfin, nous avons assimilé le phénomène de réalignement à un épisode de consolidation tâtonnant et inertiel des composantes du régime sociotechnique qui se reverrouillent par la formulation d'une nouvelle « alchimie » entre le territoire et une technologie alternative, celle de l'AE.

Le processus de « désalignement-réalignment » à la base de l'émergence territorialisée de l'électromobilité – et plus généralement celles des bien-systèmes territorialisés – peut être schématisé, synthétisé et rationalisé par l'approche lancastérienne du bien-attributs. Cette grille d'interprétation et ses déclinaisons sous la forme des « *characteristics-based models* », sont susceptibles de décrypter les canaux d'encastrement des innovations dans le territoire, ainsi que d'intégrer les considérations de stratégie et d'organisation industrielles, politiques, technologiques et territoriales. Plus précisément, notre représentation reprenant l'armature du modèle de Gallouj et Weinstein (1997) précise l'articulation des « îlots de caractéristiques » dont la combinaison est à l'origine des quatre modèles types d'émergence de l'électromobilité contemporaine¹⁶⁵. Ces îlots comprennent les « caractéristiques de l'AE », dans ses physionomies et ses fonctionnalités, les « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique », qui renvoie à la nature servicielle de l'AE et qui replacent l'AE dans ses caractéristiques d'utilisation, ainsi que les « caractéristiques du territoire », qui insistent sur le contexte d'action de l'AE et qui prennent en considération, tant la sphère politique par le biais des différentes strates administratives et de leurs aspirations respectives, que les caractéristiques géographiques et infrastructurelles des territoires. Au total, c'est dans

¹⁶⁵ Pour rappel, ces quatre modèles-types en référence aux modèles « substitution », « bouquet » et « multifaces ».

la manière dont l'ensemble de ces îlots s'enchâssent et s'ajustent que se forgent les conditions de l'émergence et de la diffusion d'un bien-système territorialisé tel que l'AE.

Ainsi gréée, nous parvenons à dresser des constats, à dégager des régularités et à valider des thèses sur le thème de l'émergence et de la diffusion territorialisées de l'électromobilité et, dans le prolongement, de l'AE.

En fondant une acception du territoire comme espace de ressources potentielles devant être activées, spécifiées et, plus généralement, révélées (Colletis, 2010), nous montrons que les ressources et actifs territoriaux, enchâssés dans un cadre institutionnel, favorisent ou entravent l'émergence et la diffusion de l'AE. L'analyse de l'émergence de l'AE en Californie a montré que les institutions, participant d'une « construction territoriale » (Colletis et al., 1997), forgent une culture du territoire et façonnent des ressources spécifiques capitalisant sur des représentations et des formes d'actions collectives favorables à l'organisation de proximités géographiques, organisationnelles et institutionnelles (Torre et Rallet, 2005). En Californie, l'émergence de l'AE se singularise par des perspectives élargies liées au franchissement des frontières sectorielles traditionnelles des industries des télécommunications, des transports et de l'énergie, suscitant l'apparition d'opérateurs de mobilité électrique et d'agrégateurs de charges. Ce cas démontre également que le processus de territorialisation des technologies ne s'enclenche pas uniquement à partir du potentiel avéré ou latent des actifs et ressources du territoire, à l'instar des travaux de Colletis et Pecqueur, mais également sur la base des faiblesses intrinsèques des territoires, dans une forme de « déterminisme des points faibles », justifiant une appropriation distincte des technologies et une diffusion territorialisée de l'AE.

Les conditions de la transition vers un système sociotechnique alternatif s'inscrivent dans la levée des facteurs de verrouillage sur la solution du véhicule thermique, dont l'ancrage

territorial est un élément essentiel. De ce point de vue, le maintien, sous une forme contrariée, du système dominant ou le basculement vers un système sociotechnique distinct ne se forge pas seulement dans la nébuleuse du régime sociotechnique, mais également dans la proximité d'usage des technologies en concurrence. La levée de ces verrous nécessite ainsi le pivot de ressources et d'actifs territoriaux génériques identiquement « activables » et « spécifiables » par des technologies concurrentes, ou bien transite par une étape de « déspecification » d'actifs qui prolonge la remise en cause partielle du système sociotechnique dominant. La déstabilisation du système dominant homogénéise, en effet, les points de forces et de faiblesses des technologies, dont les potentiels s'équilibrent dans un contexte mouvant. Empiriquement, dans l'émergence de l'AE, ces conditions proviennent de tensions d'ordre macrostructurel, mais découlent également du régime sociotechnique, sous la forme d'une crise au caractère structurel, social et écologique qui interroge notamment le socle énergétique sur lequel repose le modèle de croissance des économies contemporaines. L'épisode de « normalisation » des actifs et des ressources du territoire transite ainsi notamment par l'action de la puissance publique, qui interroge son arsenal législatif afin de réorienter les choix individuels et ceux des industriels vers un modèle plus vertueux.

Les quatre modèles-types d'électromobilité identifiés constituent les points d'ancrage du réalignement des composantes du régime sociotechnique et, par-là, les vecteurs d'un système sociotechnique articulé autour de l'électromobilité. Les modèles « substitution », « bouquet » et « multifactes » composent, en effet, des niches de marché – au sens de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002). En cela, ils placent l'AE et le véhicule thermique usuel en situation de concurrence, en particulier les modèles « substitution » s'inscrivent dans une continuité des critères d'usage, tandis que les modèles « bouquet » et « multifactes » se fondent sur une discontinuité en termes de fonctionnalités. Ces précisions sont importantes car dans le cas des

technologies de nature systémique, les effets de verrouillage s'associent à un mécanisme d'endogénéisation des technologies dans le territoire, transitant par la spécification de ses actifs et ressources. Les réseaux de stations essence et de réparation dédiés à la technologie du véhicule thermique, illustrent parfaitement ce phénomène, d'autant que les performances de ce dernier ont progressivement infusé les usages, l'organisation spatiale des territoires et les représentations collectives.

L'AE, au titre de bien-système territorialisé, ne fait pas l'objet d'un processus de diffusion usuel, sur le principe d'une reproduction à l'identique, mais d'un processus de « traduction », dans l'acception de Callon, Lascoumes et Barthes (2001). Le processus de « traduction » fait écho à une appropriation spécifique de l'AE par le territoire et ses acteurs, basée sur une logique de valorisation mutuelle entre les propriétés des territoires – en termes de ressources et d'actifs – et les propriétés de la technologie. Cette intrication est à l'origine du phénomène de réalignement des composantes du régime sociotechnique, qui s'opère à partir d'une dynamique graduelle d'activation des ressources et de spécification des actifs. Dans cette optique, l'émergence de l'AE résulte moins de l'installation d'une infrastructure de recharge standard dans un territoire donné, que dans la correspondance des propriétés de l'AE au cadre spatio-temporelle des déplacements des usagers et dans la capacité de l'AE à capitaliser sur les ressources du territoire en termes de compétences et de caractéristiques géographiques afin d'apporter de l'intelligence aux bornes et de se superposer aux temps productifs et sociaux, à l'échelle des territoires « vécus » (Frémont, 1976).

En corollaire, l'influence du territoire ne s'arrête pas à la question de l'émergence des systèmes d'électromobilité, mais s'impose également à celle de leur diffusion, sous la forme d'une diffusion par capillarité. Les canaux par lesquels la diffusion par capillarité transite

relèvent essentiellement d'effets directs et indirects de réseau territorialisés. Il s'agit, en particulier, de l'apparition de biens complémentaires – telles que les bornes de recharge – et de couches de services apportées par les opérateurs de mobilité électrique, contribuant tous deux à maximiser les performances du couple formé par l'AE et son infrastructure de charge. Chaque modèle-type d'électromobilité investit un canal de diffusion par capillarité distinct. Pour les modèles « substitution », qui germent dans le terreau d'une adéquation spatiale et temporelle des caractéristiques des clients et des propriétés du territoire aux performances de l'AE, les usages sont les vecteurs de l'émergence par capillarité. Pour le modèle « bouquet », le vecteur est le faible coût marginal d'utilisation de l'AE, entraînant la décroissance du coût moyen de production du service [de mobilité] avec le nombre d'utilisateurs. Pour le modèle « multifactes », dans lequel l'AE s'envisage comme le maillon du système énergétique, sinon électrique, territorial, la recherche d'effets combinatoires initiant de nouvelles fonctionnalités pour l'AE constitue le principal vecteur d'émergence par capillarité.

L'émergence et la diffusion de l'électromobilité contemporaine ne peuvent être interprétées en termes de déterminisme d'ordre technologique ou institutionnel. Si les propriétés intrinsèques de l'AE engendrent des verrous et des opportunités technologiques, de même que si les institutions formelles et informelles accompagnent les territoires, soit dans le changement le long d'une même trajectoire, soit dans le basculement d'une trajectoire technologique à une autre (Hakmi et Zaoual, 2008), l'innovation constitue un produit indéfectiblement lié à la dynamique de relations systémiques plus riches, portées par des structures économiques, sociales et institutionnelles (Coppin, 2002). Dans le cas des « bien-systèmes territorialisés », saisis comme des produits dont les fonctionnalités – étendues ou augmentées par rapport à la gamme des besoins usuellement satisfaite – sont actionnées par une dose de volontarisme politique et sont spécifiées en fonction des propriétés des territoires

en termes de ressources et d'actifs, le territoire, à travers ses propriétés géographiques, institutionnelles, infrastructurelles et culturelles influence décisivement les modalités, les rythmes et la physionomie d'émergence et de diffusion, à l'instar de l'AE.

Bibliographie de la Partie 3

- ABDELMALKI L., DUFOURT D., KIRAT T. et REQUIER-DESJARDINS D. (1996), « Technologie, institutions et territoires : le territoire comme création collective et ressource institutionnelle », In PECQUEUR B. (Ed.), *Dynamiques territoriales et mutations économiques*. l'Harmattan, Paris, pp.177-194.
- ABERNATHY W., CLARK K. et KANTROW A. (1983), *Industrial Renaissance : Producing a Competitive Future for America*, Basic Books Inc., New York, 194 pages.
- ALIBERT E. (2009), Un nouveau choc pétrolier se profile, *La Tribune*, Jeudi 12 Novembre 2009 [En ligne] (Page consultée le 14/11/2011).
<http://www.latribune.fr/journal/edition-du-1211/politique-internationale/307056/un-nouveau-choc-petrolier-se-profile.html>
- AMABLE B. (2003), « Systèmes d'innovation », in MUSTAR P. et PENAN H. (Eds.), *Encyclopédie de l'innovation*, Economica, Paris, pp.367-369.
- AMENDOAL M. et GAFFARD J-L. (1988.b), *The Innovative Choice : an economic analysis of the dynamics of technology*, Basil Blackwell, Oxford, 116 pages.
- AMIN A. et THRIFT N. (1993), « Globalization, institutional thickness and local prospects », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.413-418.
- ARCHIBALD G.C. et ROSENBLUTH G. (1975), « The « New » Theory of Consumer Demand and Monopolistic Competition », *Quarterly Journal of Economics*, n°59, pp.569-590.
- ARTHUR W.B. (1989) « Competing technologies, Increasing Returns, and lock-in by historical small events », *Economic Journal*, Vol.99, n°394, pp.116-131.
- ARTHUR W.B., ERMOLIEV Y. et KANIOVSKI Y. (1987), « Path-dependent processes and the emergence of macro-structure », *European journal of operational research*, Vol.30, n°3, pp.294-303.
- AYDALOT P. (1985), *Économie régionale et urbaine*, Economica, Paris, 487 pages.

- AYDALOT P. (1986), « Présentation », in AYDALOT P. (Ed.), *Milieux innovateurs en Europe*, GREMI, Paris, pp.9-14.
- BAGNASCO A. et TRIGLIA C. (1993), *La construction sociale du marché, le défi de la troisième Italie*, ENS-Cachan, Paris, 284 pages.
- BAINEE J. et LE GOFF R (2012), « Territoire, industrie et « bien système », le cas de l'émergence d'une industrie du véhicule électrique en Californie » *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.303-326.
- BAHRAMI H. (1992), « The Emerging Flexible Organisation : Perspectives from Sillicon Valley », *California Management Review*, Vol.34, n°4, pp.3-52.
- BARKENBUS J. (2009), « Our Electric automotive future : CO₂ savings through a disruptive technology », *Policy and Society*, Vol.27, pp.399-410.
- BARNEY J.B. (1991), « Firm resources and sustained competitive advantage », *Journal of Management*, Vol.17, n°1, pp.99-120.
- BASSALER N. (2009), Le choix du véhicule électrique en Israël, Note de veille n°132 : Centre d'Analyse Stratégique, Paris, Avril 2009, 11 pages.
- BELLET M. (1992), « Technologie et territoire : l'organisation comme objet de recherche ? », *Revue Française d'Economie*, Vol.7, n°1, pp.85-138.
- BELLON B. (1997), « Avantages construits et dynamiques d'apprentissage », in FAUGERE J.P. et al. (Eds.), *Convergence et diversité à l'heure de la mondialisation*, Economica, Paris, pp.89-100.
- BOSCHMA R.A. (2005), « Proximity and innovation. A critical assessment », *Regional Studies*, Vol.39, n°1, pp.61-74.
- BOYER R., CHAVANCE B. et GODARD O. (1991), « La dialectique réversibilité-irréversibilité : une mise en perspective », in BOYER R., CHAVANCE B. & GODARD O. (Eds.), *Les figures de l'irréversibilité en économie*, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, pp.11-33.

- BRESSON G. et MATHIEU C. (1992), « Différenciation horizontale et verticale des produits : une application à l'industrie automobile », *Annales d'Economie et de Statistique*, n°27, pp.117-147.
- CACCOMO J-L. et SOLONANDRASANA B. (2003), *L'innovation dans l'industrie touristique : Enjeux et stratégies*, L'Harmattan, Paris, 180 pages.
- CALLON M., LASCOUTES P. et BARTHE Y. (2001), *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Le Seuil, Paris, 358 pages.
- CAMAGNI R. et MAILLAT D. (2006), *Milieus innovateurs - théorie et politique*, Economica, Paris, 502 pages.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMEN M. et RICKNE A. (2002), « Innovation systems : analytical and methodological issues », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.233-245.
- CARLSSON B. et STANKIEWICZ R. (1991), « On the nature, function and composition of technological systems », *Evolutionary Economics*, n°1, pp.93-118.
- CARLUER F. et LE GOFF R. (2002), « NTIC et apprentissage multimodal localisé : vers la constitution d'un espace serviciel », *Economie Appliquée*, n°3, pp.135-171.
- CLARK K. (1983), « Competition, Technical Diversity and Radical Innovation in the US Auto Industry », in R. Rosenbloom et al. (Ed.), *Research on Technological Innovation, Management and Policy*, JAI Press, Oxford, pp.103-149.
- COHEN D. (2009), *La prospérité du vice. Une introduction (inquiète) à l'économie*, Albin Michel, Paris, 282 pages.
- COLLETIS G. (2010), « Co-évolution des territoires et de la technologie : une perspective institutionnaliste », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°2, pp.235-249.
- COLLETIS G., GILLY J-P., PECQUEUR B., PERRAT J. et ZIMMERMAN J-B. (1997), « Firms et territoires : entre nomadisme et ancrage », *Espaces et Sociétés*, n°88-89, pp.118-137.

- COLLETIS G. et PECQUEUR B. (1993), « Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives », *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.489-508.
- COLLETIS G. et PECQUEUR B. (2005), « Révélation de ressources spécifiques et coordination située », *Économie et Institutions*, n°6-7, pp.51-74.
- COLLETIS G. et PERRIN J. (1995), « Le rôle des représentations de l'Etat et des changements techniques dans la définition des politiques économiques », in BASLE M. et DUFOURT D. (Eds.), *Changement institutionnel et changement technique*, CNRS, Paris, pp.255-279.
- COPPIN O. (2002), « Le milieu innovateur : une approche par le système », *Innovations, Cahiers d'économie de l'innovation*, n°16, pp.29-50.
- COURLET C, PECQUEUR B. et SOULAGE B. (1993), « Industrie et dynamiques de territoires », *Revue d'Economie Industrielle*, n°64, pp.7-21.
- CRUNCHBASE, Latest on Fundings, Acquisitions, and Startup Events [En ligne] : <http://www.crunchbase.com> (Page consultée le 06/05/2011).
- DAHL M.S. et REICHSTEIN T. (2006), Heritage and Survival of Spin-offs : Quality of Parents and Parent-Tenure of Founders [En ligne] (Page consultée le 07/01/2012).
http://www.researchgate.net/publication/228345322_Heritage_and_survival_of_spin-offs_Quality_of_parents_and_parent-tenure_of_founders
- DALLE J-M. (1995), « Dynamique d'adoption, coordination et diversité : la diffusion des standards technologiques », *Revue Economique*, Vol.46, n°4, pp.1081-1098.
- DARBERA R. (2002), « L'Expérience californienne des quotas de voitures propres », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°41, pp.31-51.
- DEBRESSON C. et AMESSE F. (1991), « Networks of innovators : A review and introduction to the issue », *Research Policy*, n°20, pp.363-379.

- DECOSTER E., MATTEACCIOLI A. et TABARIES M. (2004), « Les étapes d'une dynamique de territorialisation : le pôle optique en Ile-de-France », *Géographie Économie Société*, Vol.6, n°4, pp.383-413.
- DE VRIES E.I. (2006). « Innovation in services in networks of organizations and in the distribution of services », *Research Policy*, Vol.35, pp.1037-51.
- DIJK M. (2013), « A socio-technical perspective on the electrification of the automobile : niche and regime interaction », Colloque international : 21st International GERPISA Colloquium, 12-13-14/06/2013, Paris, 15 pages.
- DJELLAL F. et GALLOUJ F. (2012), « L'innovation dans les services. Une innovation (plus) verte ? », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.), *L'innovation verte – de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.70-97.
- DOSI G. (1982), « Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change », *Research Policy*, Vol.11, n°3, pp.147-162.
- DRIVECLEAN, A buying guide for clean and efficient vehicles [En ligne]
http://www.driveclean.ca.gov/Search_and_Explore/Make_Model_Search.php (Page consultée le 30/01/2011).
- DUEZ P. (2009), Les fondements épistémologiques et théoriques d'une économie des territoires, Colloque international : 6^{èmes} journées de la Proximité, 14-15-16/10/2009, Poitiers, 15 pages.
- DUPUY Y., GILLY J-P. et LUNG Y. (2007), « De l'analyse sectorielle à l'analyse territoriale : pour une approche méso-économique », in ITÇAINA X., PALARD J. et SEGAS S. (Eds.), *Régimes territoriaux et développement économique*, Presses Universitaires de Rennes, pp.113-146.
- EDF (2012), *La Californie en pointe sur les véhicules électriques*, La Lettre de la Mobilité Électrique n°249, Février 2012, 1 page.

- EDQUIST C. (1997), *Systems of innovation : Technologies, Institutions and Organizations*, Pinter Publishers, Londres, 408 pages.
- EDQUIST C. et JOHNSON B. (1997), « Institutions and organisations in systems of innovation », in EDQUIST C. (Ed.), *Systems of Innovation : Technologies, Institutions and Organizations*, Routledge, London, pp.41-63.
- EGGENBERGER F. et POLYA G. (1923), « Über die Statistik verketteter Vorgänge », *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol.3, pp.279-289.
- EMADI A. (2005), *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, CRC Press, 736 Pages.
- EPA.GOV, United States Environmental Protection Agency [En ligne] :
<http://www.epa.gov/otaq/ld-hwy.htm> (Page consultée le 20/04/2011).
- EVFINDER, Informations about electric vehicles [En ligne] :
<http://www.evfinder.com/NEVs.htm> (Page consultée 03/05/2011).
- FISCHER A. (1990), « Contribution à l'étude des nouvelles relations de l'entreprise industrielle à l'espace géographique », in Benko G.B. (Ed.), *La dynamique spatiale de l'économie contemporaine*, Presses Universitaires de France, Paris, 396 pages.
- FLORIDA R. (1995), « Toward the Learning Region », *Futures, The Journal of Forecasting and Planning*, Vol.27, n°5, pp.527-536.
- FLORIDA R. (2005), *The flight of the creative class : the new global competition for talent*, HarperBusiness, New-York, 352 pages.
- FORAY D. (1989), « Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.48, n°1, pp.16-34.
- FREMONT A. (1976), *La Région, espace vécu*, Presses universitaires de France, Paris, 223 pages.

- FREYSSINET M. (2011), « The start of a Second Automobile Revolution. Corporate strategies and public policies », *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol.38, n°2, pp.69-84.
- GAFFARD J-L. (1990), *Economie Industrielle et de l'Innovation*, Paris, Dalloz, 470 pages.
- GALBRAITH J-K. (2009), *L'État prédateur Comment la droite a renoncé au marché libre et pourquoi la gauche devrait en faire autant*, Seuil, Paris, 311 pages.
- GALLOUJ C. (2004), « Innovation et trajectoires d'innovation dans le grand commerce : une approche lancastérienne », *Innovations. Les Cahiers de l'innovation*, n°19, pp.75-99.
- GALLOUJ C., CHIADMI N. et LE CORROLLER C. (2010), Typologies et modèles d'innovation dans le secteur du tourisme, Colloque international : 11th Seminar in Service Management, Marketing, Strategy, Economics, Operations and Human Resources, IEA, 25-26-27-28/05/2010, Université d'Aix en Provence, La Londe Les Maures, 19 pages.
- GALLOUJ F. et WEINSTEIN O. (1997), « Innovation in services », *Research Policy*, n°26, pp.537-556.
- GARIBALDO F. (2011), Urban mobility as the product of a systemic change, Colloque international : 19^{ème} colloque international du GERPISA, Est-ce que la seconde révolution automobile est en cours ?, 8-9-10 juin 2011, Paris, 27 pages.
- GARUD R et KARNOE P. (2001), *Path Dependence and Creation*, Lawrence Erlbaum Associates, Londres, 440 pages.
- GAY C. et PICARD F. (2001), « Innovation, agglomération et espace : une mise en perspective de la littérature », *Economies et Sociétés*, Vol.6, n°4, pp.679-716.
- GEELS F.W. (2002), « Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : a multi-level perspective and a case-study », *Research Policy*, Vol.31, pp.1257–1274.

- GEELS F.W. (2005), « Processes and patterns in transitions and system innovations : Refining the coevolutionary multilevel perspective », *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.72, n°6, pp.681-696.
- GEELS F. et KEMP R. (2007), « Dynamics in sociotechnical systems : Typology of change processes and contrasting case studies », *Technology in Society*, Vol.29, n°4, pp.441-455.
- GEELS F.W. et SCHOT Y. (2007), « Typology of sociotechnical transition pathways », *Research Policy*, Vol.36, n°3, pp.399–417.
- GIDDENS A. (1987), *La constitution de la société*, PUF, Paris, 492 pages.
- GILLY J.P. et PECQUEUR B. (2000), « Régulation des territoires et dynamiques institutionnelles de proximité : le cas de Toulouse et des Baronnies », in GILLY J.P. et TORRE A. (Eds.), *Dynamiques de proximité*, L'Harmattan, Paris, pp.131-164.
- GORDON R. (1992), « PME réseau d'innovation et milieu technopolitain : la Silicon Valley », In MAILLAT D. et PERRIN J-C. (Eds.), *Entreprises innovatrices et développement territorial*, GREMI EDES, Neuchâtel, pp.195-220.
- HAKMI L. et ZAOUAL H. (2008), « La dimension territoriale de l'innovation », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.17-35.
- HAMILTON W. (1980), *Electric Automobiles : Energy Environmental and Economic Prospects for the Future*, McGraw Hill Book Company, 425 pages.
- HENDERSON R.M. et CLARK K.B. (1990), « Architectural innovation : The reconfiguration of existing product technologies and failure of established firms », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°1, pp.9-30.
- HUGHES T.P. (1991), « Technological momentum », in Roe Smith M. et Marx L. (Eds.), *Does Technology Drive History ? : The Dilemma of Technological Determinism*, Massachusetts Institute of Technology, Boston, pp.101-113.

- JULLIEN B. et LUNG Y. (2011), *Industrie automobile la croisée des chemins*, La Documentation Française, Paris, 136 pages.
- KAHN R. (2010), « La dimension culturelle du développement territorial », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°4, pp.625-650.
- KATZ M. et SHAPIRO S. (1985), « Network Externalities, Competition and Compatibility », *American Economic Review*, Vol.75, n°3, pp.424-440.
- KEBIR L. (2004), *Ressource et développement : une approche institutionnelle et territoriale*, Thèse de Doctorat : Sciences Economiques, Neuchâtel : Université de Neuchâtel, 187 pages.
- KLEPPER S. (2010), « The origin and growth of industry clusters : The making of Silicon Valley and Detroit », *Journal of Urban Economics*, Vol.67, n°1, pp.15-32.
- KLEPPER S. et GRADY E. (1990), « The evolution of new industries and the determinants of market structure », *Rand Journal of Economics*, Vol.21, pp.24-44.
- KLEPPER S. et SIMONS K-L. (1997), « Technological Extinctions of Industrial Firms : An Inquiry into Their Nature and Causes », *Industrial and Corporate Change*, Vol.6, n°2, pp.379-460.
- KOLEVA P., RODET-KROICHVILI N. et VERCUEIL J. (2006), « Le cahier des charges théorique : une analyse économique évolutionnaire des institutions », in KOLEVA P., RODET-KROICHVILI N. et VERCUEIL J. (Eds.), *Nouvelles Europes. Trajectoires et enjeux économiques*, Presses de l'UTBM, Belfort-Montbéliard, pp.21-72.
- KROES P. (2002), « Design methodology and the nature of technical artefacts », *Design Studies*, n°23, pp.287-302.
- LANCASTER K.J. (1966), « A new approach to consumer theory », *The Journal of Political Economy*, Vol.54, n°2, pp.132-157.
- LANCASTER K.J. (1975), « Socially Optimal Product Differentiation », *American Economic Review*, Vol.65, n°4, pp.567-585.

- LANCASTER K.J. (1980), « Intra-industry trade under perfect monopolistic competition », *Journal of International Economics*, n°10, pp.151-175.
- LANCASTER K.J. (1991), *Modern Consumer Theory A new approach of consumer Theory*, Edward Elgar, Cheltenham, 242 pages.
- LAROCHE-DUPRAZ C., AWONO C. et VERMERSCH D. (2008), « Application de la théorie de Lancaster à la consommation de poulet de chair au Cameroun », *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n°86, pp.79-98.
- LARRUE P. (2002), *La coordination des activités d'innovation dans les consortiums de recherche sur les batteries pour véhicules électriques et hybrides : une analyse comparative Etats-Unis, Europe, Japon*, Rapport ADIT, Paris, 189 pages.
- LARRUE P. (2004), « Action collective et régimes technologiques dans les phases d'émergence : le cas du consortium PNGV », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.106, pp.31-48.
- LECUYER C. (2006), *Making Silicon Valley Innovation and the growth of high tech 1930-1970*, MIT Press, Cambridge, 408 pages.
- LENFLE S. et MIDLER C. (2003), « Innovation in Automotive Telematics Services : Characteristics of the Field and Management Principles », *International Journal of Automotive Technology & Management*, Vol.3, n°1/2, pp.144-159.
- LEONARD-BARTON D. (1992), « Core capabilities and Core rigidities : a paradox in managing new product development », *Strategic Management Journal*, Vol.13, pp.111-125.
- LEQUEUX F. (2002), *Concurrence et effets de dominance économique dans l'industrie multimédia*, Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Paris : Université Paris I Panthéon-Sorbonne, 552 pages.
- LIEBOWITZ S. et MARGOLIS E. (1995), « Path dependence, Lock-in and History », *Journal of Law, Economics and Organization*, Vol.11, n°1, pp.205-226.

- LINDE A. (2010), *Electric Cars The Future is Now!: Your Guide to the Cars You Can Buy Now and What the Future Holds*, Voloce, Londres, 128 pages.
- LUNDVALL B. (1985), *Product innovation and user-producer interaction*, Aalborg University Press, Aalborg, 39 pages.
- MAILLAT D. (1994), « Comportements spatiaux et milieux innovateurs », in AUVRAY J-P., BAILLY A., DERYCKE P-H. et HURIOT J-M. (Eds.), *Encyclopédie d'économie spatiale - Concepts, Comportements, Organisations*, Economica, Paris, pp.255-262.
- MALERBA F. (2002.a), « Les régimes technologiques et les systèmes sectoriels d'innovation en Europe », in J-L. TOUFFUT (Ed.), *Institutions et innovation : de la recherche aux systèmes sociaux d'innovation*, Albin Michel, Paris, pp. 232–247.
- MALERBA F. (2002.b), « Sectoral systems of innovation and production », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.247-264.
- MARSHALL A. (1920), *Principles of economics*, Macmillan, Londres, 627 pages.
- MASSARD N., TORRE A. et CREVOISIER O. (2004), « Proximité Géographique et Innovation », in PECQUEUR B. et ZIMMERMANN J-B. (Eds.), *Economie de Proximités*, Hermès, Paris, pp.155-183.
- METCALFE J.S. (1988), « Evolution and economic change », in Silberston Z.A. (Ed.), *Technology and Economic Progress*, Palgrave Macmillan, Londres, 300 pages.
- MICHAUX F. (2010), *Monographies des plans nationaux d'action en faveur de l'électromobilité*, Confrontations Europe, Avril 2010, 45 pages.
- MOLLARD A. et PECQUEUR B. (2007), « De l'hypothèse au modèle du panier de biens et de services. Histoire succincte d'une recherche », *Economie Rurale*, n°300, pp. 110-114.
- MOLLARD A., PECQUEUR B et MOALLA M. (2005), « Offre de produits et services territorialisés et approche lancastérienne de la demande de biens combinés », in Torre A ;

Filippi M (Eds.), *Proximités et changements socio-économiques dans les mondes ruraux*, INRA Editions, Paris, pp.73-93.

- MOORE G. et DAVIS K. (2004), « Learning the Silicon Valley Way », In BRESNAHAN T. et GAMBARDELLA A. (Eds.), *Building High-Tech Clusters. Silicon Valley and Beyond*, Cambridge University Press, Cambridge, pp.7-39.

- MORGAN K. (1997), « The Learning Region : institutions, innovation and regional renewal », *Regional Studies*, Vol.31, pp.491-503.

- NDIAYE A. (2012), « Territoires, Clusters et EcoQuartiers : un modèle de développement urbain innovant », in Boutillier S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.), *L'innovation verte. De la théorie aux bonnes pratiques*, pp.347-371.

- NELSON R. et WINTER S.G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, 454 pages.

- NEXT 10 (2011), *Powering innovation : California is leading the shift to Electric Vehicles from R&D to early adoption*, Next 10, Décembre 2011, 36 pages.

- NORTH D.C. (1990), *Institutions, Institutional change and Economic performance*, Cambridge University Press, Cambridge, 159 pages.

- PECQUEUR B. (2004), « Vers une géographie économique et culturelle autour de la notion de territoire », *Géographie et Cultures*, n°49, pp.71-86.

- PECQUEUR B. (2006), « Le tournant territorial de l'économie globale », *Espaces et sociétés*, Vol.2-3, n°124-125, pp.17-32.

- PECQUEUR B. (2010), « Le territoire comme entité d'innovation et de mobilisation des populations face à la mondialisation des échanges », in GODET M., DURANCE P. et MOUSLI M. (Eds.), *Créativité et innovation dans les territoires*, Les Rapports du CAE, n°92, pp.291-303.

- PECQUEUR B. et ZIMMERMANN J-B. (2004), *Économie de proximité*, Lavoisier, Paris, 264 pages.

- PIGOU A.C. (1920), *The Economics of Welfare*, Macmillan, Londres, 551 pages.
- PORTER M.E. (1998), *On Competition*, Harvard Business Press, Cambridge, 485 pages.
- POSTEL-VINAY G. (2009), « La voiture électrique un nouvel axe des politiques industrielles », *Réalités industrielles*, n°8, pp.67-74.
- PROAG S-L (2011), Analyse comparative des « Low Emission Zones » européennes : quelle pertinence pour la faisabilité d'une « Zone d'Action Prioritaire pour l'Air » à Paris, Projet de Fin d'Etudes, Paris : ENSTA ParisTech, 146 pages.
- RALLET A. (1995), « Les technopoles comme forme d'apprentissage des liens industrie-recherche-formation : le cas français », in LAZARIC N. et MONNIER J.M. (Eds.), *Coordination économique et apprentissage des firmes*, Economica, Paris, 254 pages.
- RALLET A. et TORRE A. (1995), *Économie industrielle et économie spatiale*, Economica, Paris, 473 pages.
- RALLET A. et TORRE A. (2005), « Proximity and Localization », *Regional Studies*, Vol.9, n°1, pp.47-60.
- REQUIER-DESJARDINS D. (2009), Territoires, identités, patrimoine: une approche économique ?, développement durable et territoires [En ligne] (Page consultée le 25/01/2013).
<http://developpementdurable.revues.org/7852>
- RICHEZ-BATTESTI N. (2008), « Innovations sociales et dynamiques territoriales. Une approche par la proximité », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.36-51.
- RIP A. et KEMP R. (1998), « Technological Change. Human Choice and Climate Change », in RAYNER S. et MALONE E.L. (Eds.), *Human Choice and Climate Change*, Batelle Press, Columbus, pp.327-399.
- ROSENTHAL S-S. et STRANGE W-C. (2004), « Evidence on the nature and sources of agglomeration economies », In Henderson J-V. et Thisse J-F. (Eds.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, Amsterdam, 1082 pages.

- SAADA B. (2011), *Perspectives technologiques du véhicule électrique : État des lieux en Californie et Méthode d'évaluation*, Rapport du Consulat Général de France à San Francisco, Décembre 2011, 66 pages.
- SAVIOTTI P.P. (1996), *Technological Evolution, Variety and the Economy*, Edward Elgar, Londres, 223 pages.
- SAVIOTTI P.P. et METCALFE J.S. (1984), « A theoretical approach to the construction of technological output indicators », *Research Policy*, n°13, pp.141-151.
- SAXENIAN A. (1994), *Regional Advantage : Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*, Harvard University Press, Cambridge, 240 pages.
- SCHILLING M.A. (2000), « Toward a general systems theory and its application to interfirm product modularity », in GARUD R., KUMARASWAMY A. et LANGLOIS R.N. (Eds.), *Managing in the modular age*, Blackwell Publishing, Oxford, pp.172-202.
- SCHWARTZ (2011), *Etude technico-économique pour la mise en oeuvre nationale de l'électro-mobilité au Luxembourg*, Schwartz and Co, Décembre 2011, 122 pages.
- SECOMANDI F., SNELDERS D., HULTINK H.J. et BADKE-SCHAUB P.G. (2008), « Towards a model of goods and services for the analysis of innovation and design », in GANZ W., KICHERER F. et SCHLETZ A. (Eds.), *Conference proceedings of Reser 2008 - New horizons for the role and production of services*, 25-26 Septembre 2008, Stuttgart, pp.1-20.
- SIERRA C. (1997), « Proximité(s), interactions technologiques et territoriales : une revue », *Revue d'Economie Industrielle*, n°82, pp.7-38.
- SIMON H.A. (1962), « The architecture of complexity, Proceedings of the American Philosophical Society », in GARUD R., KUMARASWAMY A. et LANGLOIS R.N. (Eds.), *Managing in the modular age*, Blackwell Publishing, Oxford, pp.15-38.
- SIMON H.A. (1969), *The Science of the Artificial*, The MIT Press, Cambridge, 231 pages.

- STOHR W. (1986), « Regional Innovation Complexes », *Papers in Regional Science*, Vol.59, n°1, pp.29–44.
- STORPER M. (1993), « Regional « worlds » of production : learning and innovation in the technology districts of France, Italy and the USA », *Regional Studies*, n°27, pp.433-455.
- TORRE A. et RALLET A. (2005), « Proximity and localization », *Regional Studies*, Vol.39, n°1, pp.47-59.
- TSE A. (2010), « EV Automakers Face Coercion from China », *The Wall Street Journal* Vendredi 17 Septembre 2010.
- TUSHMAN M. et ANDERSON P. (1986), « Technological discontinuities and organization environment », *Administrative Science Quarterly*, Vol.31, n°3, pp.439-465.
- UTTERBACK J.M. et ABERNATHY W.J. (1975), « A Dynamic Model of Process and Product Innovation », *The International Journal of Management Science*, Vol.3, n°6, pp.639–656.
- VAN BREE B., VERBONG G.P.J. et KRAMER G.J. (2010), « A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles », *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.77, pp.529–540.
- VARIAN H.R., FARRELL J.V. et SHAPIRO C. (2004), *The Economics of Information Technology : An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, 102 pages.
- VELTZ P. (1996), *Mondialisation, villes et territoires. L'économie d'archipel*, Presses Universitaires de France, Paris, 262 pages.
- VERCUEIL J. (2013), « Vers une économie institutionnelle du changement : clarifier les concepts et leurs articulations », *Economie Appliquée*, Vol.116, n°1, pp.31-58.
- VERNIMMEN, La référence pour les professionnels et les étudiants de la finance [En ligne] (Page consultée le 06/11/2011).

http://www.lesechos.fr/finance-marches/vernimmen/definition_surface-financiere.html

- WALLER B. (2011), Developing a new Plug-in Electric Vehicle ecosystem for automotive distribution, Colloque international : 19^{ème} colloque international du GERPISA, Est-ce que la seconde révolution automobile est en cours ?, 8-9-10/06/2011, Paris, 10 pages.
- WERNERFELT B. (1984), « A resource-based view of the firm », *Strategic Management Journal*, Vol.5, pp.171-180.
- WHITMARSH L.E. (2012), « How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research ? », *Journal of Transport Geography*, Vol.24, pp.483-487.
- WINDRUM P. et GARCIA-GOÑI M. (2008), « A neo-Schumpeterian model of health services innovation », *Research Policy*, Vol.37, n°4, pp.649-672.
- ZAOUAL H. (2008), « Présentation générale : Innovation et dynamiques de proximité. Une clef de lecture », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.5-16.
- ZIMMERMANN J-B. (1995), « Le concept de grappes technologiques : Un cadre formel », *Revue économique*, Vol.46, n°5, pp.1263-1295.
- ZIMMERMANN J-B. (2008), « Le territoire dans l'analyse économique. Proximité géographique et proximité organisée », *Revue française de gestion*, n°184, pp.105-118.

Conclusion générale

I. Un retour sur notre démarche.

La problématique de l'émergence et de la diffusion de l'électromobilité, entendue comme la généralisation de l'usage des automobiles électriques (AE), ne se cantonne pas à des questionnements portant sur l'architecture du véhicule¹⁶⁶ ou bien encore sur la technologie et les performances de ses batteries d'accumulateurs, mais repose aussi et essentiellement sur une contrainte d'intégration dans un « environnement » technique, économique, politique et sociétal, qui tient compte de ses besoins, de ses inconvénients et de ses avantages, à l'échelle d'un territoire donné. De ce point de vue, les pierres d'achoppement sont nombreuses, car ces derniers sont des espaces physiques multiscalaires complexes, de sorte que l'émergence de l'AE interroge, tout à la fois, la technologie, le territoire et le tissu social « car la mobilité ne doit pas être conçue simplement comme la capacité à faire des kilomètres, mais comme un moyen de se rendre vers les diverses commodités qui caractérisent la vie quotidienne : l'emploi, la culture, la vie sociale, l'approvisionnement, etc. »¹⁶⁷.

Nous inscrivant dans le prolongement de ces propos et cherchant à expliciter les conditions et les canaux d'émergence et de diffusion de l'électromobilité, l'objectif de la thèse était triple.

Il s'agissait, d'une part, d'identifier les freins à l'émergence et à la diffusion de l'AE et de mesurer leur acuité. En effet, l'AE s'assimile à une innovation systémique qui articule une

¹⁶⁶ Un enjeu industriel important pour les constructeurs automobiles est d'investir dans la technologie dont la probabilité d'émergence est la plus conséquente et dont le potentiel en termes de parts de marché est le plus significatif. En ce qui concerne l'AE, les technologies en concurrence sont, *a minima*, la propulsion électrique « pure » et la propulsion hybride « rechargeable » (ou *Plug-in*).

¹⁶⁷ Olivier Paul-Dubois-Taine, cité par Axel Villareal, dans le compte-rendu de la 182^{ème} journée du GERPISA (Groupe d'Etude et de Recherche Permanent sur l'Industrie et les Salariés de l'Automobile) du 1^{er} Octobre 2010.

série de composantes matérielles (technologies de batteries d'accumulateurs avancées ; bornes de recharge,...) et immatérielles (innovations de services, d'usages et sociétales) nouvelles ou profondément redéfinies. Aussi, nous nous demandions comment l'intégration et la coordination dynamique de chacun de ces éléments s'opèrent et selon quelle temporalité ? Quelles sont les stratégies déployées par les entreprises et les acteurs publics ? Sont-elles compatibles et aboutissent-elles à l'apparition de standards technologiques ? Nous pressentions qu'une analyse technico-économique replacée dans un creuset d'économie évolutionniste permettrait de tirer parti de nombreux constats empiriques et de se forger une conviction quant à la probabilité et aux formes d'émergence de l'AE.

Il s'agissait, d'autre part, d'identifier quelle est l'échelle pertinente d'appréhension de la dynamique d'émergence et de diffusion de l'AE. En effet, en concevant l'électromobilité comme une combinaison technico-économique amalgamant les caractéristiques d'un véhicule, les comportements des usagers et le cadre territorial de leur interaction, nous posons la question de la représentation de « systèmes de mobilité ». Mais alors, comment saisir les routines de déplacement des usagers, elles-mêmes enchâssées dans un changement paradigmatique du statut social accordé à la voiture particulière concrétisé par l'apparition de l'autopartage ou du covoiturage ? Comment intégrer la perspective territoriale dans la dynamique d'émergence d'une technologie ? Au plan analytique, nous voulions développer une approche typologique des mobilités et des temps susceptible de dessiner les traits de « systèmes d'électromobilité » archétypaux.

Il s'agissait, enfin, d'identifier quels sont les vecteurs d'émergence et de diffusion de l'AE et la manière dont ils procèdent. Rappelons que la singularité de l'émergence de l'AE est qu'elle intervient dans un marché dominé par une technologie alternative ancrée dans le

territoire et les usages et, par-là, « verrouillée » dans un paradigme industriel et sociétal. Dans ce contexte, nous interrogeons la capacité de l'AE à contester la position acquise par l'automobile thermique. Il nous semblait alors crucial de préciser les mécanismes par lesquels une innovation [systémique] émerge, remplace, transforme et/ou reconfigure un système sociotechnique dominant. En d'autres termes, nous souhaitons dégager les forces de diffusion de l'AE dans le système sociotechnique existant.

En vue d'atteindre ces objectifs, nous avons organisé notre recherche en trois parties.

Notre première partie a dressé un état des lieux de l'industrie automobile et plus particulièrement celle de l'AE. A cette fin, nous avons mobilisé les concepts évolutionnistes du « régime technologique » (Nelson et Winter, 1982) et du « système sectoriel d'innovation et de production » (Malerba, 2002.a, b), articulant des conditions d'opportunité, de cumulativité et d'appropriabilité technologiques. Cette première partie a ainsi été l'occasion de repérer et d'évaluer l'ensemble des freins et opportunités techniques et économiques sur lesquels l'émergence et la diffusion de l'AE sont susceptibles de buter ou se bâtir. De ces analyses, portant respectivement sur les batteries d'accumulateurs et sur le diptyque formé par le moteur électrique et l'électronique de puissance (**Chapitre 1**), puis sur l'AE elle-même (**Chapitre 2**), plusieurs résultats peuvent être mis en évidence.

Appliquée au cas des batteries d'accumulateurs, la grille d'analyse en termes de « régime technologique » a souligné la prégnance des obstacles d'ordre technique se manifestant par une trajectoire technologique tâtonnante et inertielle favorisant les innovations incrémentales au détriment des innovations radicales. Plus favorable, le contexte économique est le témoin de l'existence de nombreux consortium de recherche précompétitive, portés par des acteurs publics et privés, destinés à faire progresser collectivement ces technologies. Il semble

d'ailleurs qu'une telle communauté de destin engendre les conditions d'une standardisation *de facto* (David et Greenstein, 1990) sur le couple électrochimique du Lithium-Ion, qui bénéficie également de l'étendue et de la complémentarité de ses débouchés. Symétriquement, l'essor d'une filière de la motorisation électrique ne pâtit pas de contraintes techniques sérieuses, mais essentiellement économiques. En se montrant très fiable, peu coûteuse en entretien et particulièrement efficient, grâce au couple moteur électrique et électronique de puissance, l'AE fragilise, en effet, les modèles d'affaires traditionnels des constructeurs automobiles. En retour, ces propriétés s'associent au faible coût de l'électricité abreuvent l'AE pour faire de cette dernière une solution de déplacement rentable pour les automobilistes, les institutions et les industriels qui ont la stratégie d'en maximiser l'usage.

En nous limitant aux données françaises, nous avons déterminé que le coût de revient de l'AE n'est pas un élément qui fragilise son émergence ou sa diffusion. En effet, nous avons mis en évidence, à travers le filtre d'une collection de contextes, que l'AE constitue toujours une solution rentable par rapport au véhicule thermique conventionnel. Cette assertion est renforcée dans le cas de la valorisation financière de la capacité de stockage d'électricité de la batterie d'accumulateurs de l'AE, à diverses étapes de son cycle de vie. Nous avons également constaté que l'AE met en valeur tous les éléments de la granularité des territoires. En effet, outre une efficacité énergétique globale tributaire du *mix* énergétique territorial, à l'échelle régionale ou nationale, la pertinence économique de l'AE se conjugue aux conditions fiscales et économiques des lieux d'achat. Ces aspects se révèlent également conditionnant pour le périmètre de l'industrie de l'AE, en ce qu'ils invitent de nouveaux acteurs, tels que les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges, à graviter autour des constructeurs automobiles usuels.

Notre deuxième partie a consisté à identifier, justifier et analyser les diverses formes d'émergence de l'AE, entendu comme « bien-système territorialisé ». Interprétée à l'aune de la « perspective multi-niveaux » (Geels, 2002), apportant une assise théorique, l'AE émerge sous la forme de « systèmes d'électromobilité », qui représentent des niches de marché discordantes vis-à-vis d'un régime sociotechnique dominant. De tels systèmes résultent de compromis entre les propriétés d'une AE, sa batterie et son infrastructure de recharge, dont le potentiel est actionné par un soubassement d'infrastructures de natures multiples, dans le cadre d'un régime d'usages adossé à un creuset spatio-temporel spécifique. Après avoir identifié quatre « systèmes d'électromobilité » archétypaux via un inventaire des acceptions du concept de « bien système » (**Chapitre 1**), nous avons détaillé et enrichi ces modèles par le biais d'une lecture spatio-temporelle (**Chapitre 2**). Par la suite, nos propos se sont focalisés sur les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges (**Chapitre 3**), acteurs contribuant précisément à fluidifier l'inscription spatio-temporelle de l'AE dans les usages et les mobilités des particuliers et des professionnels.

Le concept de « bien système » s'est avéré fondamental dans l'appréhension de l'AE et de la manière dont elle infuse les usages et, conséquemment, le marché automobile. Afin de repérer des configurations concrètes d'émergence de l'électromobilité, nous avons privilégié une analyse par les fonctionnalités des bien-systèmes, le périmètre de celles-ci pouvant se cantonner au bien lui-même, être étendues par l'adjonction de biens et services complémentaires concourant à satisfaire une même catégorie de besoins ou encore, être augmentées par le croisement de biens, services et réseaux physiques assurant plusieurs fonctions dissociées. Chacune de ces perspectives soulève des questionnements et apporte des éclairages spécifiques sur les arrangements institutionnels coordonnant les multiples acteurs de l'industrie de l'électromobilité, sur la structuration des services de transport en bouquets, introduisant les notions d'intermodalité et de multimodalité, ainsi que sur la mécanique

combinatoire – du point de vue technologique et fonctionnel – auquel sont assujettis les bien-systèmes s’affranchissant de toutes frontières sectorielles et industrielles.

Nous avons repéré quatre modèles génériques d’émergence de l’AE, intitulés modèles de « substitution rigide », « substitution flexible », « autopartage » et « multifactes ». Le premier renvoie au transport – public ou individuel, de personnes ou de marchandises – sous la forme de déplacements en site propre ou de tournées. Dans le modèle « substitution flexible », l’AE est utilisée comme une voiture thermique, mais dans un espace contraint par sa taille, à l’image des sites portuaires. Le modèle « autopartage » décrit les systèmes d’autopartage assimilant l’AE à un maillon d’un bouquet de transports multimodal. Enfin, le modèle « multifactes » envisage l’AE comme un maillon de l’infrastructure énergétique, constituant une source décentralisée de stockage d’électricité et assurant de concert une fonction de déplacement et de stockage. Afin d’étayer ces modèles, ils ont été passés au tamis d’une lecture spatio-temporelle fondée sur une typologie des espaces (urbains, périurbains, extra-urbains) et des usages (professionnels, pendulaires, loisirs), permettant également d’apprécier l’adéquation des systèmes d’électromobilité repérés aux schémas de mobilité actuels des personnes et des marchandises.

Dans l’écosystème de l’AE émergeant, l’inscription spatio-temporelle de l’AE dans les usages et les mobilités des usagers est notamment assurée par les opérateurs de mobilité électrique, qui offrent une prestation forfaitaire de mobilité comprenant l’accès à une infrastructure de recharge, la location des batteries d’accumulateurs ou l’achat d’électricité. Ils mettent ainsi en cohérence et régulent en dynamique les offres et demandes de déplacements en informant l’usager sur le positionnement géographique des bornes de recharge, leur disponibilité et la possibilité de les réserver ou en assurant l’appariement entre l’offre de véhicules en autopartage et les demandes de déplacement. Pour leur part, les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges accommodent les offres et demandes de déplacements

aux productions et consommations d'électricité. Les modèles d'affaires de ces derniers reposent sur le principe du marché bifaces (Rochet et Tirole, 2003), c'est-à-dire une démarche de « sponsorship » de l'achat de l'AE par la revente d'électricité préalablement stockée, ce qui occasionne des rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés au VE. Il est alors apparu clairement que la nature systémique et territorialisée de l'AE engendre les conditions d'existence d'un écosystème foisonnant et prometteur.

Notre troisième partie a envisagé les processus d'émergence et de diffusion de l'AE sur une base explicitement territoriale. Elle est bâtie sur le principe que la co-construction et la co-évolution d'une technologie avec son « cadre d'usage » – lui-même enchâssé dans le territoire – pour former un « cadre de référence socio-technique » (Flichy, 1995). Afin de saisir et de synthétiser la nature, les étapes et la temporalité des recompositions du régime socio-technique associées à l'émergence de l'AE, mais aussi de capter les choix individuels, ceux des firmes, ainsi que le jeu des institutions et leur capacité à intervenir dans l'offre de ressources, nous avons adopté la démarche originale de coupler la perspective multi-niveaux (Geels, 2002) aux travaux d'économie du territoire. Dans le prolongement d'une revue de la littérature s'attachant à saisir les logiques technologique, économique et institutionnelle du processus de territorialisation des technologies (**Chapitre 1**), nous avons élaboré un outil heuristique saisissant la logique d'émergence, de diffusion et d'architecture des bien-systèmes territorialisés (**Chapitre 2**).

Par le croisement de la perspective multi-niveaux et des travaux d'économie territoriale reliant territoire et innovation, nous avons cherché à forger une appréhension originale des processus d'émergence et de diffusion de l'AE, dans laquelle l'émergence d'une technologie est liée aux capacités d'adaptation des territoires, à partir de ses actifs et ressources. Ces derniers sont dits « spécifiques » s'ils tirent leur valeur de la participation à un processus de

production donné, s'ils sont adossés à une technologie particulière (Pecqueur et Colletis, 1993 ; 2005) et s'ils contribuent au verrouillage d'un régime sociotechnique dominant. Sur cette base, le phénomène de transition vers l'électromobilité s'interprète comme un désalignement progressif des composantes technologiques, politiques et culturelles d'un régime sociotechnique à l'échelle d'un territoire et d'une phase de « réalignement » de ces mêmes composantes autour d'une nouvelle « alchimie » entre un territoire et l'AE. Les séquences d'« activation des ressources » et de « spécification des actifs » véhiculant alors un mécanisme d'endogénéisation des technologies dans le territoire, dont les points d'arrimage sont les quatre systèmes d'électromobilité repérés. Ces derniers agissent, en effet, à la manière des « niches de marché » de la perspective multi-niveaux, portant en germe la capacité de modifier les bases sociotechniques d'accumulation et de réalisation des profits du régime dominant.

L'AE est un bien-système sur lequel s'agrègent plusieurs types de fonctions actionnées par les territoires au regard de contraintes et d'opportunités spécifiques en termes géographique, de conditions infrastructurelles et réglementaires, ou bien de régimes d'usages. A ce titre, l'AE fait l'objet d'une appropriation spécifique par le territoire et ses acteurs, basée sur une logique de valorisation mutuelle entre les propriétés des territoires et celles de la technologie. La lecture lancastérienne du « bien-attribut » (Lancaster, 1966) et des « *characteristics-based models* » nous a offert l'opportunité de décrypter les canaux d'encastrement des innovations dans le territoire et de retranscrire les dynamiques d'émergence territorialisée de l'AE, en envisageant trois « îlots de caractéristiques », dont les interactions façonnent les systèmes d'électromobilité identifiés. Le premier îlot aborde la question des « caractéristiques de l'AE » et saisit la physionomie du bien-système et de ses fonctionnalités, tandis que l'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » inscrit l'AE dans les usages et distingue la nature des intermédiations technologiques. L'îlot des

« caractéristiques du territoire » insiste, pour sa part, sur le cadre d'usage de l'AE et prend en considération les dimensions géographiques, infrastructurelles et institutionnelles territoriales. Ainsi, selon la manière dont ces îlots s'enchâssent et s'ajustent en dynamique, se forgent les conditions d'émergence et de diffusion d'un bien-système territorialisé, à l'image de l'AE.

II. Les résultats de notre recherche.

Les résultats de notre recherche sont de trois ordres. Le premier réside dans le développement d'une méthodologie originale qui croise l'approche multi-niveaux (Geels, 2002) et l'économie du territoire, afin de saisir les dynamiques d'émergence et de diffusion des « biens-systèmes territorialisés ». Au moyen de cette grille de lecture, nous avons été en mesure d'explicitier les conditions d'émergence et de diffusion de l'AE. En particulier, nous avons pu identifier les acteurs et leurs stratégies, les freins et opportunités technico-économiques, ainsi que les canaux de diffusion, si bien qu'il nous a été possible d'apprécier le potentiel de diffusion de l'AE. Ce résultat devait en appeler un troisième, tenant à la formalisation d'un certain nombre de prescriptions à destination des pouvoirs publics et des entreprises privées, en vue de stimuler et maximiser la diffusion de l'AE.

D'un point de vue théorique, notre recherche s'est attachée à développer une approche qui enrichit le pouvoir explicatif de la perspective multi-niveaux originale (Geels, 2002). Cette dernière s'avère, en effet, particulièrement adaptée à l'analyse de l'émergence des innovations radicales, dans la mesure où l'emphase est placée sur l'environnement systémique d'accueil des innovations. Plus précisément, la perspective multi-niveaux se polarise sur les épisodes de transition des systèmes sociotechniques, en envisageant quels sont les canaux d'ancrage des nouvelles technologies et comment les niches de marché repérées questionnent puis, le cas

échéant, transforment les régimes dominants. En tant que telle, la perspective multi-niveaux se montre néanmoins peu outillée pour saisir la dimension territoriale, parfois prégnante, des phénomènes d'émergence technologique (Whitmarsh, 2011). En particulier, nous avons souligné que de nombreuses subtilités associées à l'émergence de l'AE lui échappent, limitant ainsi son caractère interprétatif et déductif. Partant de ce constat, tout en préservant la trame originelle de la perspective multi-niveaux, nous l'avons adaptée au cas de l'émergence des innovations assimilables à des bien-systèmes territorialisés.

Sur la méthode, en vue d'instiller une dose de « territorialité » à la perspective multi-niveaux, qui soit néanmoins respectueuse des fondements théoriques de cette dernière, nous avons mobilisé les travaux de Pecqueur et Colletis (1993 ; 2005), portant sur les processus de territorialisation¹⁶⁸. Ces derniers soulignent, en effet, la nécessité d'enchâsser territorialement les processus d'innovation afin d'intégrer les choix individuels des consommateurs dans l'analyse, ainsi que le jeu des institutions et leur capacité à intervenir dans l'offre de ressources et à faire émerger des compromis à l'échelle du territoire, d'un point de vue local ou national. En corollaire, territoire et approche multi-niveaux offrent, de concert, une nouvelle grille de lecture des dynamiques socioéconomiques du développement de l'électromobilité et, de manière plus générale, des dynamiques d'émergence et de diffusion des bien-systèmes territorialisés.

La fertilisation croisée de l'approche par l'économie du territoire et de la perspective multi-niveaux s'articule à une logique graduelle d'alignement, de désalignement et de réaligement des systèmes sociotechniques composants les régimes sociotechniques identifiée par Geels et Schot (2007). Plus précisément, l'analyse par les ressources et actifs génériques et spécifiques

¹⁶⁸ Notons que ce couplage étaye également la dimension institutionnelle seulement sous-jacente de la perspective multi-niveaux, répondant en cela aux critiques formulées par Genus et Coles (2008).

du territoire s'arrime au triptyque alignement/désalignement/réalignement et donne lieu à un séquençage en trois phases. Ainsi, dans la logique d'alignement prévalant dans les régimes sociotechniques institués, concrétisée par l'imbrication d'une technologie dominante dans les sphères technologiques, économiques et institutionnelles, le phénomène de « verrouillage » s'inscrit dans la présence d'actifs et des ressources spécifiques et surtout spécifiés pour et par le territoire. Dans la logique de désalignement, les conditions du basculement vers un système sociotechnique renouvelé procèdent d'une phase de normalisation ou de « despécification » des actifs et ressources du territoire, venant homogénéiser le potentiel de technologies en concurrence. Finalement, la logique de réalignement s'assimile à la transition du régime sociotechnique, c'est-à-dire une nouvelle « alchimie » entre une technologie et le territoire, dont le verrouillage repose sur la spécification des actifs et ressources du territoire, suivant de nouvelles modalités.

Sous cette formulation abstraite, notre grille d'interprétation peut s'appliquer à tous types de bien-systèmes territorialisés, pour en apprécier les conditions d'émergence et de diffusion. Pêle-mêle, nous pouvons citer les offres de produits-services territorialisés¹⁶⁹, les services publics numériques locaux, ou encore le véhicule à hydrogène, exemple que nous proposons d'illustrer. L'hydrogène apparaît, en effet, comme un « produit fatal » de l'industrie chimique, c'est-à-dire une quantité d'énergie présente dans certains processus de production ou de transformation et qui peut être, au moins en partie, récupérée et valorisée. L'Allemagne, plus particulièrement la Bavière, où l'industrie chimique prospère, dispose ainsi d'un fort stimulus

¹⁶⁹ Les offres de produits-services territorialisés se fondent dans l'approche du « panier de biens » (Pecqueur, 2001) et de la « rente territoriale (Mollard, 2001). Ils évoquent la construction de ressources spécifiques par les acteurs d'un territoire, à l'image des Appellations d'Origine Contrôlées (AOC).

pour constituer un écosystème bénéficiant d'un tel avantage concurrentiel. Notons que cette analyse se décline également au cas des véhicules roulant au gaz naturel¹⁷⁰.

Sous une formulation plus concrète, notre grille d'interprétation semble apporter un nouvel éclairage pour la compréhension des conditions d'émergence et de diffusion de l'électromobilité, ce que nous avons mis en évidence à travers le cas de l'émergence d'une industrie de l'AE en Californie. Sur ce territoire, l'alignement des composantes technologique, économique et institutionnelle du régime sociotechnique dominant se structure autour d'actifs spécifiques comme le maillage en infrastructures de production et de distribution, sous forme de stations d'essence, propre à la technologie du moteur thermique et autour de ressources spécifiques tels que l'usage marqué de l'automobile individuelle. *A contrario*, la phase de normalisation des actifs et ressources du territoire transite, en Californie, par l'organisation de proximités géographiques, organisationnelles et institutionnelles (Torre et Rallet, 2005). Plus généralement, le désalignement des composantes du régime dominant semble être le fait de la puissance publique, qui interroge son arsenal législatif, afin de réorienter les choix individuels et ceux des industriels. Le réalignement de ces composantes, c'est-à-dire le processus de transition sociotechnique *stricto sensu* s'appuie, pour sa part, sur la définition de ressources et d'actifs spécifiques, comme la mise en place de réseaux électriques intelligents, assurant un rôle clé dans le modèle « multiface », où la diffusion de l'AE est notamment assurée par le franchissement des frontières sectorielles traditionnelles des industries des transports, des télécommunications et de l'énergie.

¹⁷⁰ Techniquement, la production de gaz naturel, c'est-à-dire de méthane de synthèse, peut résulter de l'électricité, via une transformation de celle-ci en hydrogène par électrolyse et en combinant ce composé à du dioxyde de carbone. Le bilan « du puits à la roue » d'une automobile s'abreuvant en gaz naturel dérivé d'une électricité issue de l'éolien serait de 30g/km de CO₂, selon les ingénieurs du cabinet Solar Fuel. En termes d'émissions de CO₂, ce bien-système territorialisé se révélerait alors cinq à sept fois plus efficient que les solutions actuelles.

A l'aune de l'ensemble des éléments apparaissant à chaque étape de notre réflexion, il nous semble possible de dégager des tendances, de valider des hypothèses et, dans le prolongement, de formuler des recommandations à destination des pouvoirs publics et des entreprises privées sur le thème de l'émergence et de la diffusion de l'électromobilité et de l'AE.

En premier lieu, l'automobile électrique forme un bien-système, si bien qu'il est nécessaire d'envisager la question de son émergence et de sa diffusion en intégrant la perspective des bornes de recharge et des modalités de recharge. Plus spécifiquement, l'AE est un bien-système territorialisé, dans la mesure où les déplacements – des usagers particuliers et professionnels – sont inscrits dans les territoires, y compris dans leurs temporalités. Le territoire, dans ses propriétés physiques et politiques, constitue ainsi la clé de voûte de l'émergence et de la diffusion de l'électromobilité. Il en découle plusieurs conséquences en termes de préconisations.

D'une part, l'AE ne fait pas l'objet d'un processus d'émergence et de diffusion usuel, sur le principe d'une reproduction à l'identique sur des territoires partageants certaines propriétés communes, mais d'un processus de « traduction », dans l'acception de Callon, Lascoumes et Barthes (2001). Un tel processus fait écho à une appropriation spécifique de l'AE par le territoire et ses acteurs, basée sur une logique de valorisation mutuelle entre les propriétés des territoires, en termes de ressources et d'actifs, et les propriétés technico-économiques de l'électromobilité. Dans cette veine, nous pouvons avancer que :

1. En fondant une acception du territoire comme un espace de ressources potentielles qui doivent être activées, spécifiées et exploitées (Colletis, 2010), les ressources et actifs du territoire favorisent ou entravent l'émergence et la diffusion de l'électromobilité. Nous

avons ainsi relevé que le processus d'endogénéisation de l'électromobilité dans les territoires ne s'enclenche pas uniquement à partir du potentiel avéré ou latent des actifs et ressources desdits territoires, mais également sur la base des faiblesses intrinsèques de ces derniers, dans une forme de « déterminisme des points faibles ». Ce changement de philosophie doit être intégré par les acteurs publics et privés, car il contribue à envisager l'AE à travers le prisme de son ancrage systémique.

2. Chaque territoire, dans ses propriétés économiques, politiques et comme creuset des usages, induit la physionomie d'émergence de l'AE la plus en phase avec ses propres caractéristiques. Dans ce cadre, le rôle de la puissance publique est de laisser un degré de liberté, c'est-à-dire d'ouvrir le champ des possibles en veillant à homogénéiser le potentiel latent ou réalisé des technologies en concurrence. Ce rôle est d'autant plus prégnant que les cadres d'usage prévisibles formulés par les stratégies territoriales et les cadres de fonctionnement effectifs peuvent se superposer imparfaitement. La puissance publique est ainsi invitée à financer la recherche précompétitive sur les technologies alternatives, à user d'une fiscalité correctrice des effets de verrouillage sur les technologies dominantes, ou encore à effectuer un travail de sensibilisation et de lobbying auprès de ses administrés. Une fois la mise en musique orchestrée, c'est-à-dire lorsque le territoire et ses acteurs ont engendré une approche collective et coordonnée de l'émergence de l'AE¹⁷¹, puisant *a priori* dans les quatre systèmes d'électromobilité repérés, le processus de transition se déclenche.

3. Un jalon primordial de la diffusion de l'AE est, à terme, d'envisager la question de la mise en place et de la gestion des bornes de recharge de manière désagrégée et décentralisée. Il nous semble, en effet, que les choix effectués notamment par les

¹⁷¹ Cette approche peut-être très concrète, en offrant la gratuité des parkings et des voies réservées ou mutualisées avec les transports publics aux AE, ce qui suppose une acception sociale de la population. Cette approche s'inscrit également dans une démarche rendue cohérente par la prise en compte de l'interdépendance des politiques publiques, à tous les niveaux de décision.

collectifs de commerçants de proximité ou regroupés dans des centres commerciaux¹⁷² s'avéreront judicieux, en ce que ces acteurs ont les moyens de faire coïncider leur offre avec les temps et les usages de leurs clientèles, entraînant une véritable cohérence territoriale du maillage en bornes de recharge et une utilisation effective de ces bornes. Cette osmose, pourra se manifester également par l'adaptation des technologies de bornes (par câble ou induction ; recharge lente ou rapide, etc.) aux natures et durées de stationnement. Dans une logique de calendrier des effets et des politiques, nous recommandons ainsi de subventionner la mise en place de bornes de recharge par les commerçants, ainsi que de promouvoir une concertation étroite entre les commerçants et les municipalités, en charge de la voirie et des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), lorsque l'AE entrera en concurrence frontale avec son homologue thermique.

D'autre part, l'influence du territoire ne s'arrête pas à la problématique de l'émergence des systèmes d'électromobilité, mais s'impose également à celle de leur diffusion. Nous anticipons ainsi une diffusion par capillarité, c'est-à-dire une extension géographique aux territoires adjacents, dont les canaux relèvent essentiellement d'effets directs et indirects de réseau territorialisés. Il s'agit notamment de l'apparition de biens complémentaires – tel qu'un meilleur maillage en termes de bornes de recharge – et de couches de services apportées par les opérateurs de mobilité électrique, dont les externalités positives couvrent des territoires adjacents.

En deuxième lieu, l'automobile électrique n'est pas vouée à remplacer, à court et moyen termes, la voiture thermique « multifonctions » que nous connaissons aujourd'hui. Pendant un temps difficile à apprécier, elle se placera comme un substitut imparfait, limité à certains

¹⁷² Nous pouvons également inclure les services publics locaux ou assimilés, accueillant du public, tels que les préfectures, les mairies et annexes, les caisses d'allocations familiales, ou encore les bureaux de poste.

usages et déplacements spécifiques, identifiés sous les traits de systèmes d'électromobilité. A ce titre, les modèles « substitution », « autopartage » et « multifactes » composent des « niches de marché », au sens de la perspective multi-niveaux (Geels, 2002) et constituent les vecteurs, aux lois d'évolution propres, d'un régime sociotechnique articulé autour de l'électromobilité qui soit alternatif à l'égard du régime de l'automobile thermique institué.

Les stimuli et les séquences d'émergence se montrent propres à chacun des modèles d'électromobilité. Les modèles « substitution » germent dans le terreau d'une adéquation spatiale et temporelle des caractéristiques des clients et des propriétés des territoires aux performances de l'AE. Le modèle « autopartage » émane du faible coût marginal d'utilisation de l'AE, entraînant la décroissance du coût moyen de production du service [de mobilité] avec le nombre d'utilisateurs. Le modèle « multifactes », dans lequel l'AE s'envisage comme le maillon du système énergétique territorial, s'inscrit dans la recherche d'effets combinatoires initiant de nouvelles fonctionnalités pour l'AE.

Si les modèles « autopartage » et « substitution » apparaissent aujourd'hui comme les niches de marché les plus mûres pour l'AE, le modèle « multifactes » draine avec lui un ancrage systémique plus puissant, qui s'arrime à un versant technique méta-système, en favorisant notamment l'intégration des énergies renouvelables intermittentes, au-delà de s'ancrer dans les usages, qui restent versatiles. Dans cette configuration, l'AE compose, en effet, une interface de stockage décentralisé d'électricité, dans l'acceptation hyper locale de l'habitat individuel, où l'AE engendre une gestion raisonnée et optimisée des consommations – voire des productions – d'électricité, ou bien dans une acceptation plus large, si l'on envisage la capacité de stockage agrégée de flottes d'AE en série, pour la gestion des pointes de consommations d'électricité à l'échelle du réseau électrique national.

En vue de stimuler l'apparition des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges, ainsi que de consolider les fondations du modèle « multifaces », nous préconisons deux actions complémentaires. D'une part, nous proposons de jeter les bases d'un marché des quotas de CO₂ ouvert aux agrégateurs de charges. Cette régulation marchande pourrait s'inspirer ou relever d'une extension du marché existant des droits à polluer, selon une configuration et une échelle spatiale qui restent à définir. D'autre part, nous proposons de diminuer le seuil minimal d'intervention des acteurs sur le marché des services système, c'est-à-dire des capacités d'électricité instantanément disponibles, garantes de la sûreté du réseau électrique. En effet, les règles en cours en France rigidifient ce marché, dont les frontières actuelles interdisent l'entrée d'acteurs de taille modeste. Au surplus, en vue de contourner sa structure oligopsonistique, une dérégulation partielle du marché des services système, couplée à l'établissement de règles d'itinérance¹⁷³, seraient très probablement favorables à l'émergence des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges. Une telle trajectoire ne manquerait pas d'ouvrir la voie à l'apparition d'un régulateur trans-sectoriel capable de cadrer des activités situées à la confluence des industries routière, énergétique, électrique et des télécommunications.

Au total, l'ensemble de ces observations et dynamiques que nous avons mis en exergue contribue à façonner un périmètre inédit pour l'industrie de l'automobile électrique, dont l'émergence s'arrime à une lame de fond « servicielle » qui oriente drastiquement les stratégies des acteurs.

Ce constat met en relief l'avènement d'un écosystème *ad hoc* appuyé sur certaines propriétés techniques intrinsèques de l'AE et sur une base territorialisée. On distingue les opérateurs d'autopartage, qui assurent l'appariement entre une offre, formée d'une flotte

¹⁷³ Dans l'industrie des télécommunications, l'itinérance (ou *roaming*) décrit la faculté d'un agent de pouvoir appeler ou être appelé par le biais d'un réseau appartenant à un autre opérateur mobile que celui avec lequel il est lié contractuellement.

d'automobiles disséminée dans un territoire et une demande de déplacement exprimée par les particuliers ou les professionnels. Les opérateurs de mobilité électrique, pour leur part, avancent le principe d'une « fonction de mobilité », consistant à vendre l'AE et à offrir une prestation forfaitaire de mobilité qui comprend, suivant les cas, la location de la batterie d'accumulateurs, l'accès à une infrastructure de recharge spécifique, des informations sur la disponibilité des bornes et sur la capacité du véhicule à les atteindre, etc. Enfin, les « agrégateurs de charges » avancent le principe de la vente d'une « fonction de stockage », capitalisant en cela sur un degré de perméabilité entre des industries autrefois cloisonnées.

La transition du régime sociotechnique vers l'électromobilité s'interprète ainsi comme le passage d'une économie de produits à une économie de fonctions. Il nous semble d'ailleurs que la propriété de l'AE de pouvoir être optimisée et complémentée par l'adjonction de connaissances, de produits ou de services issus de secteurs distincts, c'est-à-dire d'agréger une grappe d'innovations, est un facteur crucial de sa diffusion. Aussi, outre la densité des points de charge maillant un territoire, les innovations embarquées dans le véhicule et intégrées dans les bornes de recharge constituent un enjeu primordial pour l'émergence de l'AE. Elles contribuent à rendre intelligent et interactif une AE évoluant dans un réseau *a minima* routier, dans le creuset d'un territoire dont les configurations physiques et géographiques peuvent également guider les innovations. Alors que les partisans de l'automobile électrique avaient jusqu'à présent toujours failli dans la création d'un écosystème solide, l'électromobilité semble résolument être entrée désormais possiblement dans un schéma schumpétérien de destruction créatrice (SCHUMPETER, 1942).

III. Quelques limites.

Nous identifions des trois limites quant à la portée de notre analyse.

Premièrement, notre analyse pâtit d'une prise en compte relative des éléments de contexte dans lesquels l'émergence et la diffusion de l'AE s'établissent. En particulier, nous avons probablement minimisé la capacité des territoires à porter cette émergence, dans la mesure où ces derniers s'inscrivent, aujourd'hui, dans un univers contraint. La contrainte est essentiellement financière, dans un contexte de croissance économique atone. Elle se double d'une tendance au déficit croissant des transports collectifs à la charge des budgets publics locaux ou nationaux (Paul-Dubois-Taine, 2010). A cet égard, notons que les excédents budgétaires dérivés de la fiscalité automobile sont battus en brèches par l'émergence de l'AE subventionnée. De même, nous aurions peut-être gagné à intégrer la question de la décentralisation du pouvoir décisionnaire, lequel restreint, sur le plan financier, la variété des solutions favorables à la diffusion de l'AE, mais permet peut-être également un meilleur ajustement des systèmes d'électromobilité aux besoins locaux.

Deuxièmement, notre recherche bute sur certains « partis-pris » théoriques simplificateurs. Dans le détail, nous avons défendu l'idée qu'une forme d'émergence spécifique, puisée dans l'un des quatre systèmes d'électromobilité, se développe sur chaque territoire. Cette vision ne corrobore pas une réalité plurielle. Les territoires sont, en effet, multi-scalaires et abritent une multitude de comportements de déplacement et de dynamiques industrielles qui insufflent l'émergence simultanée de plusieurs systèmes d'électromobilité. On s'interrogera alors sur la complémentarité entre lesdits systèmes ou, au contraire, leur caractère exclusif. En outre, nous avons fait le choix paradoxal d'envisager l'émergence et la diffusion de l'AE en évacuant, en

partie, le rôle des constructeurs d'AE. Ce « parti-pris » s'appuie sur la volonté de dépasser l'approche monographique, ainsi que sur une hypothèse sous-jacente simplificatrice, selon laquelle des constructeurs investiront les marchés de l'AE, s'ils perçoivent une opportunité à saisir, au mépris de l'inertie naturelle de ces investissements et de l'inscription de ces derniers dans les stratégies globales des constructeurs. La question de la rationalité du comportement des producteurs se décline également au cas des consommateurs et compose, à notre sens, une critique théorique forte formulée à l'endroit de notre recherche.

Troisièmement, comme nous l'avons suggéré, notre présente recherche manque de clarté sur la nature de la rationalité des agents qu'elle considère. Ce défaut de soubassements théoriques se traduit par un usage ambigu, aléatoire et elliptique des hypothèses de rationalité parfaite et limitée. Alors que nous admettons implicitement que les consommateurs sont amenés à s'orienter vers la solution technologique et le système d'électromobilité les plus en phase avec leurs schémas de déplacements tout au long de notre exposé, nous avançons – dans le même temps – l'idée selon laquelle l'AE est susceptible de dérouter une clientèle ne recourant pas à une démarche d'optimisation des coûts sur la durée de détention du véhicule. Afin de lever toute ambiguïté sur le régime de rationalité adopté, il nous semble nécessaire d'inscrire notre travail dans le cadre d'une rationalité limitée ou située, dans la mesure où les agents économiques font montre de capacités à adhérer à une technologie contraintes par leur capital technique, économique et culturel individuels, de même qu'ils font montre de capacités cognitives liées à la collecte et au traitement de l'information d'autant plus réduites, qu'elles se manifestent dans un univers incertain rendu mouvant par l'apparition d'une innovation radicale. En corollaire, ce mode d'appréhension rend possible des situations dans lesquelles un agent fait le choix conscient ou inconscient d'opter pour une technologie non optimale, c'est-à-dire pour une « technologie inférieure », au sens de David (1985).

Les limites exposées tracent une série de pistes de recherche s'inscrivant dans la continuité de ce travail.

Un premier prolongement logique de notre thèse serait de s'émanciper des enjeux normatifs et d'assumer une approche résolument positive de la problématique de l'émergence et de la diffusion de l'électromobilité, afin de valider empiriquement nos intuitions, en rappelant que les racines de la perspective multi-niveaux sont, elles-mêmes, d'essence positive. Cette démarche aurait vocation à mieux interpréter le rôle des acteurs impliqués et de cartographier ces derniers suivant les stratégies exprimées, à préciser la nature des ressources et actifs des territoires mobilisés dans la massification de la commercialisation des AE, de même qu'à permettre d'identifier l'éventail des ressources et actifs décisifs dans le cours de ce processus. Un tel éclairage serait susceptible de valider l'assertion selon laquelle l'AE, entendue comme bien-système, pourrait recevoir des acceptions spécifiques en fonction des territoires d'accueil et, dans le même temps, enraciner l'idée que la perspective territoriale est la plus à même de saisir et d'explicitier les subtilités de l'émergence de l'électromobilité.

Une deuxième voie de recherche consisterait à envisager le même objet d'analyse à la lueur d'une trajectoire théorique alternative et probablement complémentaire. En effet, au delà des objets de recherches, la question du dialogue entre les différentes sphères concernées par ces objets constitue un champ fécond que nous n'aurons fait qu'approcher. A notre décharge, cet objectif n'était pas celui assigné à notre recherche. Il nous semble néanmoins que la thématique de l'électromobilité peut amener à réfléchir aux modalités d'élaboration d'une politique publique (environnementale) impliquant divers groupes d'acteurs. A cet égard, une approche socioéconomique du phénomène pourrait s'attacher à étudier les conditions

favorables à un « dialogue territorial » entre les parties prenantes de l'AE et, par-là, aider à la compréhension de la diffusion de cette dernière.

Sur le principe d'un agrandissement du périmètre de notre travail, une extension pourrait être de replacer le thème de l'émergence et de la diffusion de l'AE dans le sillon plus large de l'émergence d'une kyrielle de solutions technologiques d'automobilité différenciées. L'AE constitue, en effet, une option technologique, au même titre que les multiples formes d'hybridation de la chaîne de traction thermique, la pile à combustibles, ou encore, la voiture à air comprimé. Dans un univers de ressources – financières et naturelles – rares, il semble ainsi prometteur d'appréhender l'émergence de l'AE en considérant sa complémentarité fonctionnelle relativement aux technologies alternatives, ainsi qu'à l'aune des dynamiques industrielles et des stratégies des acteurs privés et publics, elles-mêmes enchâssées dans l'impérieuse nécessité de concevoir des systèmes « durables ». Probablement, le filtre territorial d'une approche systémique liée à la valorisation des actifs et ressources du territoire, dans une acception administrative ou géographique, pourrait s'avérer pertinent afin de comprendre les dynamiques à l'œuvre, la potentielle co-existence de technologies – *a priori* substituables – sous la forme d'îlots systémiques territorialisés. Dans ce cadre, l'approche territoriale pourrait utilement compléter ou amender la perspective évolutionniste généralement privilégiée dans ce type d'exercice.

Finalement, comme nous en avons d'ores et déjà émis l'idée, notre grille de lecture des dynamiques socioéconomiques du développement de l'électromobilité peut être mise à profit pour apprécier les conditions d'émergence et de diffusion des produits et services assimilables à des bien-systèmes territorialisés. Nous pouvons définir ces derniers comme des biens ou services dont les fonctionnalités, possiblement étendues ou augmentées en comparaison des

fonctions usuellement offertes, sont actionnées ou non, en vertu de ressources et actifs, dont les territoires sont dotés.

Toutes ces propositions représentent autant de pistes de recherches envisageables dans le prolongement direct ou indirect de nos travaux. De manière agrégée et structurée, il nous semble que ces éléments étayent également un véritable programme de recherche, qui s'attacherait à appréhender les conditions d'une sortie « par le haut » des méandres d'une mondialisation inégale, en privilégiant les relais techniques et technologiques de croissance futurs qui résulteraient de compromis écologiques, économiques et humains, forgés à l'échelle des territoires.

Bibliographie

- ABB (2012), GM et ABB offrent une seconde vie à la batterie de la Chevrolet Volt, Communiqué de Presse n°2012.11.20, [En ligne] (page consultée le 15/12/2012).
<http://www.abb.fr/cawp/seitp202/cb91da15fbb5aa45c1257abc004a24b9.aspx>
- ABDELMALKI L., DUFOURT D., KIRAT T. et REQUIER-DESJARDINS D. (1996), « Technologie, institutions et territoires : le territoire comme création collective et ressource institutionnelle », In PECQUEUR B. (Ed.), *Dynamiques territoriales et mutations économiques*. l'Harmattan, Paris, pp.177-194.
- ABERNATHY W. (1978), *The Productivity Dilemma. Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*, The John Hopkins University Press, Baltimore, 267 pages.
- ABERNATHY W., CLARK K. et KANTROW A. (1983), *Industrial Renaissance : Producing a Competitive Future for America*, Basic Books Inc., New York, 194 pages.
- ABERNATHY W. et UTTERBACK J. (1978), « Patterns of industrial innovation », *Technology Review*, Vol.80, n°7, pp.40-47.
- ABOULAICH A. (2007), *Electrodes négatives pour batteries rechargeables Lithium Ion : dispersion d'espèces électroactives dans une matrice* [En ligne], Thèse de doctorat : Chimie des matériaux, Montpellier : Université de Montpellier 2, 208 pages, disponible sur :
http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/56/04/PDF/rapportRV- versionfinale1.doc these_ABOULAICH.pdf
(Page consultée le 25/06/2010).
- ABRAHAM-FROIS G. (2004), *Introduction à la micro-économie*, Economica, 446 pages.
- ACA (2012.a), *Le budget de l'automobiliste français*, Automobile Club Association, Paris, Juin 2012, 32 pages.
- ACA (2012.b), *Le budget de l'automobiliste type - 2012*, Automobile Club Association, Juin 2012, 38 pages.

- ACEA, European Automobile Manufacturers' Association [En ligne] : <http://www.acea.be/>
- ACEA (2013), New passenger cars registration – European Union [En ligne] :
http://www.acea.be/images/uploads/files/20130917_PRPC-FINAL-1308.pdf (Page consultée le 08/10/2013).
- ADAMS W. J. et YELLEN J. L. (1976), « Commodity Bundling and the Burden of Monopoly », *Quarterly Journal of Economics*, n°90, pp.475-498.
- ADEME, Les chiffres clés de l'ADEME [En ligne] :
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12569> (Page consultée le 17/09/2013).
- ADEME (2009), *Enjeux, consommations électriques, émissions CO2 des transports électriques à l'horizon 2020-2030*, Août 2009.
- ADEME (2011.a), *Etude de la seconde vie des batteries des véhicules électriques et hybrides rechargeables*, Juin 2011, 60 pages.
- ADEME (2011.b), *Les systèmes de stockage d'énergie*, Feuille de route stratégique n°6919, Avril 2011, 32 pages.
- ADEME (2013), *Enquête nationale sur l'autopartage – l'autopartage comme déclencheur d'une mobilité alternative à la voiture particulière*, Rapport de recherche, Janvier 2013, 82 pages.
- AFSSE (2005), *Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur l'espérance de vie*, Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale, Juillet 2005, 15 pages.
- AGGERI F., ELMQUIST M. et POHL H. (2009), « Managing learning in the automotive industry : The innovation race for electric vehicles », *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol.9, n°2, pp.123-147.
- AIRPARIF (2012), « La qualité de l'air en Île de France en 2011 », Association de Surveillance de la Qualité de l'Air en Ile-de-France, Mars 2012, 101 pages.

- ALIBERT E. (2009), Un nouveau choc pétrolier se profile, *La Tribune*, Jeudi 12 Novembre 2009 [En ligne] (Page consultée le 14/11/2011).

<http://www.latribune.fr/journal/edition-du-1211/politique-internationale/307056/un-nouveau-choc-petrolier-se-profile.html>

- ALMEIDA E.L.F. (1999), Une analyse évolutionniste du changement dans la technologie des moteurs électriques [En ligne], Thèse de doctorat : Economie appliquée, Grenoble : Université Pierre Mendès France, 382 pages, disponible sur (Page consultée le 30/09/2010).

<http://web.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/Almeida-these.pdf>

- AMABLE B. (2003), « Systèmes d'innovation », in MUSTAR P. et PENAN H. (Eds.), *Encyclopédie de l'innovation*, Economica, Paris, pp.367-369.

- AMENDOLA M. et GAFFARD J-L. (1988), *La Dynamique Economique de l'Innovation*, Economica, Paris, 206 pages.

- AMIN A. et THRIFT N. (1993), « Globalization, institutional thickness and local prospects », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.413-418.

- ANDERSON J. et ANDERSON C.D. (2005), *Electric and Hybrid Cars : A History*, McFarland & Co, London, 267 pages.

- ANDERSON D.L. et PATIÑO-ECHEVERRI D. (2009), An evaluation of current and future costs for Lithium-Ion batteries for use in electrified vehicle powertrains, Mémoire de Master : Environmental Management, Duke : Nicholas School of the Environment of Duke University, 48 pages.

- ANDERSON P. et TUSHMAN M.L. (1990), « Technological Discontinuities and Dominant Designs : A Cyclical Model of Technological Change », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°4, pp.604-633.

- APHEKOM (2011), *Answers to Key Questions on the Impact of Air Pollution on Health in Europe*, Institut National de Veille Sanitaire, Paris, Mars 2011, 12 pages.

- ARCHIBALD G.C. et ROSENBLUTH G. (1975), « The « New » Theory of Consumer Demand and Monopolistic Competition », *Quarterly Journal of Economics*, n°59, pp.569-590.

- ARTHUR W.B. (1989) « Competing technologies, Increasing Returns, and lock-in by historical small events », *Economic Journal*, Vol.99, n°394, pp.116-131.
- ARTHUR W.B., ERMOLIEV Y. et KANIOVSKI Y. (1987), « Path-dependent processes and the emergence of macro-structure », *European journal of operational research*, Vol.30, n°3, pp.294-303.
- AUDRETSCH D. (1995), *Innovation and Industry Evolution*, MIT Press, New York, 221 pages.
- AVEM (2012), Véhicules électriques – Les immatriculations en France au premier semestre 2012, Association pour l'Avenir du Véhicule Electrique Méditerranéen [En ligne] :
<http://www.avem.fr/actualite-vehicules-electriques-les-immatriculations-en-france-au-premier-semester-2012-3306.html>
 (Page consultée le 11/12/2012).
- AVERE (2012), Les technologies utilisées dans les batteries d'accumulateurs, Association pour le développement du véhicule électrique [En ligne] (Page consultée le 07/01/2013).
<http://www.france-mobilite-electrique.org/les-technologies-utilisees-dans-les-batteries-d-accumulateurs,073.html>
- AVICENNE (2012), *Worldwide Rechargeable Battery Market 2011-2025*, Avicenne Energy, Paris, Décembre 2012, 221 pages.
- AYDALOT P. (1985), *Économie régionale et urbaine*, Economica, Paris, 487 pages.
- AYDALOT P. (1986), « Présentation », in AYDALOT P. (Ed.), *Milieus innovateurs en Europe*, GREMI, Paris, pp.9-14.
- BAGNASCO A. et TRIGLIA C. (1993), *La construction sociale du marché, le défi de la troisième Italie*, ENS-Cachan, Paris, 284 pages.
- BAINEE J. (2012), « Les opérateurs de mobilité électrique », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (eds.), *L'innovation verte – de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.125-148.

- BAINÉE J. et LE GOFF R (2012), « Territoire, industrie et « bien système », Le cas de l'émergence d'une industrie du Véhicule Electrique en Californie » *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.303-326.
- BAHRAMI H. (1992), « The Emerging Flexible Organisation : Perspectives from Sillicon Valley », *California Management Review*, Vol.34, n°4, pp.3-52.
- BALDWIN C.Y. ET CLARK K.B. (2006), « Modularity in the Design of Complex Engineering Systems », in D. BRAHA, A.A. MINAI ET Y. BAR-YAM (Eds.), *Complex engineered systems : science meets technology*, Springer, pp.175-205.
- Banque Mondiale (2012), PIB par habitant (\$ US courants) [En ligne] :
<http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.CD> (page consultée le 09/09/2012).
- BARCET A., BONAMY J. et MAYERE A. (1984), « Recherches Économiques et Sociales », La Documentation Française, n°9, pp.119-135.
- BARCHASZ C. (2011), Développement d'accumulateurs lithium/soufre [En ligne], Thèse de doctorat : Matériaux, Mécanique, Génie civil, Electrochimie, Grenoble : Université Pierre Mendès France, 248 pages, disponible sur (Page consultée le 04/12/2011).
http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/68/15/04/PDF/23636_BARCHASZ_2011_archivage.pdf
- BARGIGLI L. (2005), « The limits of modularity in innovation and production », Working Papers 176 : Centre for Knowledge, Internationalization and Technology Studies, Université de Bocconi, Milan, 30 pages.
- BARKENBUS J. (2009), « Our Electric automotive future : CO₂ savings through a disruptive technology », *Policy and Society*, Vol.27, pp.399-410.
- BARLOW J. et JASHAPARA A. (1998), « Organisational learning and inter-firm « partnering » in the UK construction industry », *The Learning Organisation*, Vol.5, n°2, pp.86-98.
- BARNEY J.B. (1991), « Firm resources and sustained competitive advantage », *Journal of Management*, Vol.17, n°1, pp.99-120.

- BASSALER N. (2009), Le choix du véhicule électrique en Israël, Note de veille n°132 : Centre d'Analyse Stratégique, Paris, Avril 2009, 11 pages.
- BAYLIS R. (2012), *Vehicle electrification and other lithium end-uses—How big and how quickly ? : Lithium Supply & Markets 2012*, Roskill, Wimbledon, Janvier 2012, 27 pages.
- BCG (2010), *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the Outlook for 2020*, Boston Consulting Group, Octobre 2010, 18 pages.
- BEAUME R. et MIDLER C. (2009), « From technology competition to reinventing individual ecomobility: New design strategies for electric vehicles », *International Journal of Automotive technology and Management*, Vol.9, n°2, pp.174-190.
- BECKER T.A., SIDUH I. et TENDERICH B. (2009), *Electric Vehicles in the United States - A New Model with Forecasts to 2030*, Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley, Août 2009, 36 pages.
- BELLET M. (1992), « Technologie et territoire : l'organisation comme objet de recherche ? », *Revue Française d'Économie*, Vol.7, n°1, pp.85-138.
- BELLET M. et BOUREILLE B. (1989), « Haute technologie, nouvelles technologies, complexification économique et régions », *Revue d'Economie Régionale et urbaine*, n°5, pp.781-794.
- BELLON B. (1997), « Avantages construits et dynamiques d'apprentissage », in FAUGERE J.P. et al. (Eds.), *Convergence et diversité à l'heure de la mondialisation*, Economica, Paris, pp.89-100.
- BELZ F-M. (2001), « Mobility Car Sharing°; Successful Marketing of Eco-Efficient Services », *Eco-Efficiency in Industry and Science*, Vol.6, pp.133-141.
- BERGENDAHL G. (1995), « The profitability of bancassurance for European banks », *International Journal of Bank Marketing*, Vol.13, n°1, pp.17-28.

- BINOIS E. (2011), *Les constructeurs automobiles se soucient davantage des métaux que des terres rares*, Euractiv, Bruxelles [En ligne] (Page consultée le 04/03/2011).

[HTTP://WWW.EURACTIV.FR/SPECIALREPORT-RAWMATERIALS/LES-CONSTRUCTEURS-AUTOMOBILES-SE-NEWS-502743](http://www.euractiv.fr/specialreport-rawmaterials/les-constructeurs-automobiles-se-news-502743)

- BIPE (2009), *Observatoire prévisionnel et marketing des déplacements et des arbitrages automobiles*, Paris, Juin 2009.

- BONNATERRE R. (2010), Daimler en s'alliant à Nissan irait chercher le package technologique EV au Japon, *Le Blog des énergies nouvelles* [En ligne] :

<http://www.leblogenergie.com/2010/03/daimler-en-salliant-%C3%A0-nissan-irait-chercher-le-package-technologique-ev-au-japon-.html> (Page consultée le 26/03/2010).

- BONNAURE P. et LAMBLIN V. (2005), « L'automobile de demain, quels enjeux, quelles perspectives », *Futuribles*, n°311, pp.25-38.

- BOSCHMA R.A. (2005), « Proximity and innovation. A critical assessment », *Regional Studies*, Vol.39, n°1, pp.61-74.

- BOURBON J-J. (2009), « Nissan fait des batteries un de ses cœurs de métier », *La Croix*, Samedi 19 Octobre 2009.

- BOYER R., CHAVANCE B. et GODARD O. (1991), « La dialectique réversibilité-irréversibilité : une mise en perspective », in BOYER R., CHAVANCE B. & GODARD O. (Eds.), *Les figures de l'irréversibilité en économie*, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, pp.11-33.

- BRESCHI S., MALERBA F. et ORSENIGO L. (2000), « Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation », *Economic Journal*, Vol.110, n°463, pp.388-410.

- BRESNAHAN T.F. et TRAJTENBERG M. (1995), « General Purpose Technologies : Engines of Growth ? », *Journal of Econometrics*, Vol.65, pp.83-108.

- BRESSON G. et MATHIEU C. (1992), « Différenciation horizontale et verticale des produits : une application à l'industrie automobile », *Annales d'Economie et de Statistique*, n°27, pp.117-147.

- BRICNET F. et DELAIN B. (2010), « La géopolitique de l'industrie automobile dans la crise », Séminaire d'Economie Industrielle, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 24/02/2010.
- BRODD R. (2006), *Factors Affecting US Production Decisions: Why Are There No Volume Lithium-Ion Battery Manufacturers in the United States*, National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, NIST GCR 06-903, 95 pages.
- BUNN J.A. et DAVID P.A. (1988), « The economics of gateway technology and network evolution : lessons from electrical supply history », *Information Economics and Policy*, Vol.3, n°2, pp.165-202.
- CACCOMO J-L. (2005), *L'épopée de l'innovation – Innovation technologique et évolution économique*, Paris, L'Harmattan, Collection L'esprit économique, 146 pages.
- CACCOMO J-L. et SOLONANDRASANA B. (2003), *L'innovation dans l'industrie touristique : Enjeux et stratégies*, L'Harmattan, Paris, 180 pages.
- CALLON M., LASCOUMES P. et BARTHE Y. (2001), *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Le Seuil, Paris, 358 pages.
- CAMAGNI R. et MAILLAT D. (2006), *Milieux innovateurs - théorie et politique*, Economica, Paris, 502 pages.
- CARLSSON B. (1992), « Industrial Dynamics : A Framework for Analysis of Industrial Transformation », *Revue d'économie industrielle*, n°61, pp.7-32.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMEN M. et RICKNE A. (2002), « Innovation systems : analytical and methodological issues », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.233-245.
- CARLSSON B. et STANKIEWICZ R. (1991), « On the Nature, Function, and Composition of Technological systems », *Journal of Evolutionary Economics*, Vol.1, n°2, pp.93-118.
- CARLTON D. et WALDMAN M. (2002), « The Strategic Use of Tying to Preserve and Create Market Power in Evolving Industries », *Rand Journal of Economics*, n°33, pp.194-220.

- CARLUER F. et LE GOFF R. (2002), « NTIC et apprentissage multimodal localisé : vers la constitution d'un espace serviciel », *Economie Appliquée*, n°3, pp.135-171.
- CATEL F. et MONATERI J-C. (2007), « Modularité et dynamique des relations durables entre entreprises : le cas des produits et systèmes complexes », Colloque international : « Analyses et transformations de la firme : une confrontation entre économistes, gestionnaires et juristes », LEFI - Université Lyon Lumière, 22-23 Novembre 2007, Lyon, 28 pages.
- CCFA, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles [En ligne] : <http://www.ccfa.fr/>
- CCFA (2011), *L'industrie Automobile Française – Analyse et statistiques 2011*, Comité des Constructeurs Français d'Automobile, Septembre 2011, 84 pages.
- CCFA (2012), Les ventes de véhicules électriques ont été quintuplées en 2011 [En ligne] : <http://www.ccfa.fr/Les-ventes-de-vehicules,105670>
- CCFA (2013.a), Les ventes de voitures électriques ont plus que doublé en 2012 [En ligne] : <http://www.ccfa.fr/Les-ventes-de-voitures-electriques,117304> (Page consultée le 08/05/2013).
- CCFA (2013.b), La Tesla Model S a été la voiture la plus vendue en Norvège en septembre [En ligne] : <http://www.ccfa.fr/La-Tesla-Model-S-a-ete-la-voiture> (Page consultée le 08/10/2013).
- CE DELFT (2008), *Duurzamer leasen, Effecten van het Duurzame Mobiliteitsplan*, B.E. KAMPMAN, M.B.J. OTTEN, R.T.M. SMOKERS, Novembre 2008, 78 pages.
- CENTER FOR AUTOMOTIVE RESEARCH (2011), *The U.S. Automotive Market and Industry in 2025*, Juin 2011, 67 pages.
- CERTU (2007.a), *Le covoiturage en France et en Europe – Etat des lieux et perspectives*, Les rapports d'étude du Certu, Octobre 2007, 86 pages.
- CERTU (2007.b), *L'autopartage au sein d'un bouquet d'offres pour une mobilité urbaine durable*, Documentation interne, Novembre 2007, 27 pages.
- CERTU (2008), *L'autopartage en France et en Europe – Etat des lieux et perspectives*, Les rapports d'étude du Certu, Décembre 2008, 59 pages.

- CETELEM (2009), *La voiture propre, enfin des pistes sérieuses, mais pas pour demain*, Observatoire CETELEM de l'Automobile, Octobre 2009, 92 pages.
- CETELEM (2011), *Les jeunes et l'automobile : voie dégagée*, Observatoire de l'automobile, Paris, Juin 2011, 84 pages.
- CETELEM (2012), *La voiture électrique et les européens*, Observatoire de l'automobile, Paris, Juin 2012, 100 pages.
- CGDD (2009), *Etude « Filières vertes » : Les filières industrielles stratégiques de la croissance verte*, Commissariat Général au Développement Durable, Octobre, 128 pages.
- CHABAUD D. et MESSENGHEM K. (2010), « Le paradigme de l'opportunité. Des fondements à la refondation », *Revue française de gestion*, Vol.7, n°106, pp.93-112.
- CHAMBERLIN E.H. (1933), *The Theory of Monopolistic Competition*, Harvard University Press, Cambridge, 396 pages.
- CHANARON J-J. et LUNG Y. (1995), *Economie de l'automobile*, Repère la découverte, Paris, 124 pages.
- CHESNAY M. (1980), *Transports et espace français*, Masson, Paris, 212 pages.
- CHRISTENSEN C.M. (1997), *The Innovators Dilemma : when new technologies cause great firms to fail*, Harvard Business School Press, Boston, 225 pages.
- CIRENE (2000), « Le Stockage de l'électricité : les batteries – Batteries au lithium : les enjeux scientifiques et technologiques d'un marché d'avenir », *CIRENE Clefs CEA*, n°44, pp.67-98.
- CLARK K. (1983), « Competition, Technical Diversity and Radical Innovation in the US Auto Industry », in R. Rosenbloom et al. (Ed.), *Research on Technological Innovation, Management and Policy*, JAI Press, Oxford, pp.103-149.
- CLARK K. (1985), « The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution », *Research Policy*, Vol.14, n°5, pp.235-251.

- COASE R.H. (1937), « The Nature of the Firm », *Economica*, Vol.16, pp.331-351.
- COGGINS J. et SENAUER B. (1999), « Grocery Retailing », in MOWERY D.C. (Ed.), *US industry in 2000 : Studies in competitive performance*, National Academy Press, Washington DC, pp.155-177.
- COHEN D. (2009), *La prospérité du vice. Une introduction (inquiète) à l'économie*, Albin Michel, Paris, 282 pages.
- COHEN W.M. et LEVINTHAL D.A. (1990), « Absorptive-capacity - a new perspective on learning and innovation », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°1, pp.128-152.
- COLLET R. (2008), Addiction à l'usage de l'automobile en France et mesures d'élasticité, Colloque international : 25^{èmes} Journées de Microéconomie Appliquées, 29-30/05/2008, Université de La Réunion, Saint-Denis, 55 pages.
- COLLETIS G. (2010), « Co-évolution des territoires et de la technologie : une perspective institutionnaliste », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°2, pp.235-249.
- COLLETIS G., GILLY J-P., PECQUEUR B., PERRAT J. et ZIMMERMAN J-B. (1997), « Firmes et territoires : entre nomadisme et ancrage », *Espaces et Sociétés*, n°88-89, pp.118-137.
- COLLETIS G. et PECQUEUR B. (1993), « Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives », *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, pp.489-508.
- COLLETIS G. et PECQUEUR B. (2005), « Révélation de ressources spécifiques et coordination située », *Économie et Institutions*, n°6-7, pp.51-74.
- COLLETIS G. et PERRIN J. (1995), « Le rôle des représentations de l'Etat et des changements techniques dans la définition des politiques économiques », in BASLE M. et DUFOURT D. (Eds.), *Changement institutionnel et changement technique*, CNRS, Paris, pp.255-279.
- COMMISSION EUROPEENNE (2007), *Livre vert sur la convergence des secteurs des télécommunications, des médias et des technologies de l'information, et les implications pour*

la réglementation – Vers une approche pour la société de l'information, Livre Vert de la Commission Européenne, Décembre 2007, 54 pages.

- COMMISSION EUROPEENNE (2011.a), *Énergies renouvelables: progrès accomplis pour atteindre l'objectif de 2020*, Communication de la Commission au Parlement Européen et au Conseil, Janvier 2011, 19 pages.

- COMMISSION EUROPEENNE (2011.b), *Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources*, Livre Blanc de la Commission Européenne, Mars 2011, 35 pages.

- CONGREGA C. et LEBLANC Y. (2011), « Renault électriques : le secret qui méritait d'être volé », *L'Automobile Magazine*, n°780, Mai 2011.

- COPPIN O. (2002), « Le milieu innovateur : une approche par le système », *Innovations, Cahiers d'économie de l'innovation*, n°16, pp.29-50.

- COQUIO J. (2008), *La performance adaptative des systèmes de transports collectifs. Modélisation, mesures de vulnérabilité et évaluation quantitative du rôle de l'information des voyageurs dans la régulation des situations perturbées* [En ligne], Thèse de Doctorat : Aménagement de l'espace et de l'urbanisme, Tours : Université François Rabelais, 401 pages.
Disponible sur :

<http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/37/22/65/PDF/These.pdf> (Page consultée le 21/12/2012).

- CORNAERT J-J. (2010), *L'avenir de l'automobile – 25 questions décisives*, Armand Colin, Paris, 160 pages.

- CORNAERT J-J. et GAY B. (2010), « L'an un de la voiture électrique », *Science&Vie*, Hors-série n°31, Septembre 2010, pp.22-27.

- COUR DES COMPTES (2012), *Les coûts de la filière électronucléaire*, Rapport public thématique, Janvier 2012, 430 pages.

- COURLET C, PECQUEUR B. et SOULAGE B. (1993), « Industrie et dynamiques de territoires », *Revue d'Economie Industrielle*, n°64, pp.7-21.
- CRUNCHBASE, Latest on Fundings, Acquisitions, and Startup Events [En ligne] :
<http://www.crunchbase.com> (Page consultée le 06/05/2011).
- CUMMINS J.D. (2005), « Convergence in Wholesale Financial Services : Reinsurance and Investment Banking », *The Geneva Papers*, Vol.30, pp.187-222.
- CURIEN N. (2000), *Economie des réseaux*, Repères la découverte, 120 pages.
- DAHL M.S. et REICHSTEIN T. (2006), Heritage and Survival of Spin-offs : Quality of Parents and Parent-Tenure of Founders [En ligne] (Page consultée le 07/01/2012).
http://www.researchgate.net/publication/228345322_Heritage_and_survival_of_spin-offs_Quality_of_parents_and_parent-tenure_of_founders
- DALLE J-M. (1995), « Dynamique d'adoption, coordination et diversité : la diffusion des standards technologiques », *Revue Economique*, Vol.46, n°4, pp.1081-1098.
- DARBERA R. (2002), « L'Expérience californienne des quotas de voitures propres », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°41, pp.31-51.
- DAVID P.A. (1985), « Clio and the economics of QWERTY », *American Economic Review*, Vol.75, n°2, pp.332-337.
- DAVID P.A. et GREENSTEIN S. (1990), « The economics of compatibility standard: an introduction to recent research », *Economies of Innovation and New Technology*, Vol.1, n°1-2, pp.3-43.
- DE BANDT J. (2002), « L'émergence du nouveau système technique ou sociotechnique », *Revue d'économie industrielle*, Vol.100, pp.9-38.
- DEBRESSON C. et AMESSE F. (1991), « Networks of innovators : A review and introduction to the issue », *Research Policy*, n°20, pp.363-379.

- DECOSTER E., MATTEACCIOLI A. et TABARIES M. (2004), « Les étapes d'une dynamique de territorialisation : le pôle optique en Ile-de-France », *Géographie Économie Société*, Vol.6, n°4, pp.383-413.
- DELSEY J. (2008), « La motorisation des véhicules », in *Prospective : l'innovation, quelle sacrée aventure*, Journal d'Information Technologique des Pays de Savoie, Hors série, 102 pages.
- DEMOZ F. (2010), *La voiture de demain - La révolution automobile a commencé*, Collection Nouveau Monde, Paris, 236 pages.
- DESJEUX D., ALAMI S et MARNAT D. (2006), « Les sens anthropologiques de la mobilité ou la mobilité comme brouilleur des bornes de la ville », in BONNET M. ET AUBERTEL P. (Eds.), *La ville aux limites de la mobilité*, Presses Universitaires de France, Paris, pp.33-57.
- DESSUS B. (2008), « La fée électricité sous le capot ? », *Liaison Énergie-Francophonie (IEPF)*, n°81, pp.46-50.
- DE VRIES E.I. (2006). « Innovation in services in networks of organizations and in the distribution of services », *Research Policy*, Vol.35, pp.1037-51.
- DIETRICH K., LATORRE J.M., OLMOS L. et RAMOS A. (2011), How can the use of electric vehicles affect the curtailment of renewable generation ?, Colloque international : 6th Conference on Energy Economics and Technology, ENERDAY 2011, 8 Avril 2011, Dresden, Germany, 17 pages.
- DIJK M. (2013), « A socio-technical perspective on the electrification of the automobile : niche and regime interaction », Colloque international : 21st International GERPISA Colloquium, 12-13-14/06/2013, Paris, 15 pages.
- DJELLAL F. et GALLOUJ F. (2012), « L'innovation dans les services. Une innovation (plus) verte ? », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.),

L'innovation verte – de la théorie aux bonnes pratiques, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.70-97.

- DOLOREUX D. et BITARD P. (2005), « Les systèmes régionaux d'innovation : Discussion critique », *Géographie, économie, société*, Vol.7, n°1, pp.21-36.

- DOSI G. (1982), « Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change », *Research Policy*, Vol.11, n°3, pp.147-162.

- DREAN G. (1996), *L'industrie informatique : structure, économie, perspectives*, Masson, Paris, 389 pages.

- DRIVECLEAN, A buying guide for clean and efficient vehicles [En ligne]

http://www.driveclean.ca.gov/Search_and_Explore/Make_Model_Search.php (Page consultée le 30/01/2011).

- DUEZ P. (2009), Les fondements épistémologiques et théoriques d'une économie des territoires, Colloque international : 6^{èmes} journées de la Proximité, 14-15-16/10/2009, Poitiers, 15 pages.

- DUPIN L. (2009), « La bataille mondiale des batteries », *L'Usine Nouvelle*, n°3162, Octobre 2009 [En ligne] (Page consultée le 06/02/2010).

<http://www.usinenouvelle.com/article/la-bataille-mondiale-des-batteries.N118351>

- DUPUY Y., GILLY J-P. et LUNG Y. (2007), « De l'analyse sectorielle à l'analyse territoriale : pour une approche méso-économique », in ITÇAINA X., PALARD J. et SEGAS S. (Eds.), *Régimes territoriaux et développement économique*, Presses Universitaires de Rennes, pp.113-146.

- ECONOMIDES N. (1996), « The economics of networks », *International Journal of Industrial Organization*, n°14, pp.673-699.

- ECONOMIDES N. et SALOP S.C. (1992), « Competition and integration among complements, and network market structure », *Journal of Industrial Economics*, Vol.40, n°1, pp.105-123.

- ECONOMIDES N. et VIARD B. (2008), « Pricing of complements and network effects », in FAULHABER G.R., MADDEN G. et PETCHEY J. (Eds.), *Regulation and Performance of Communication and information networks*, Edward Elgar, Northampton, pp.157-190.
- EDF (2010), *EDF, acteur incontournable de la mobilité électrique*, Dossier de Presse, Septembre 2010, 33 pages.
- EDF (2012), *La Californie en pointe sur les véhicules électriques*, La Lettre de la Mobilité Électrique n°249, Février 2012, 1 page.
- EDQUIST C. (1997), *Systems of innovation : Technologies, Institutions and Organizations*, Pinter Publishers, Londres, 408 pages.
- EDQUIST C. et JOHNSON B. (1997), « Institutions and organisations in systems of innovation », in EDQUIST C. (Ed.), *Systems of Innovation : Technologies, Institutions and Organizations*, Routledge, London, pp.41-63.
- EIGLIER P. et LANGEARD E. (1987), *Servuction, le marketing des services*, McGraw Hill, Paris, 202 pages.
- EGGENBERGER F. et POLYA G. (1923), « Über die Statistik verketteter Vorgänge », *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol.3, pp.279-289.
- ELECTRIFICATION COALITION (2009), *Electrification Roadmap - Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security*, Novembre 2009, 180 pages.
- EL YOUNSI H. (2012), *Le recentrage des entreprises fondements, théorie et approche empirique*, Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Paris : Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 481 pages.
- EMADI A. (2005), *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, CRC Press, 736 Pages.

- ENRIETTI A. et PATRUCCO P.P. (2011.a), Systemic innovation and organizational change in the car industry : electric vehicle innovation platforms, *European Review of Industrial Economics and Policy* [En ligne], n°3, (Page consultée le 21/07/2011).
<http://revel.unice.fr/eriep/index.html?id=3293>.
- ENRIETTI A. et PATRUCCO P.P. (2011.b), « Collective innovation and systemic reconfiguration in the car industry : The case of electric vehicles », *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol.38, n°1, pp.85-106.
- ENTSO-E (2011), *Overview of transmission tariffs in Europe : Synthesis 2010*, Mai 2011, 40 pages.
- EPA.GOV, United States Environmental Protection Agency [En ligne] :
<http://www.epa.gov/otaq/ld-hwy.htm> (Page consultée le 20/04/2011).
- EPEX SPOT (2012), Prix spot de l'électricité en France – 2011-2012 [En ligne] :
<http://www.epexspot.com/en/> (Page consultée le 27/09/2012).
- EUCAR (2009), *The Electrification of the Vehicle and the Urban Transport System*, European Council for Automotive R&D, July 2009, 11 pages.
- EUROSTAT (2013), Electricity and natural gas price statistics [En ligne] (Page consultée le 06/06/2013) :
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics
- EVFINDER, Informations about electric vehicles [En ligne] :
<http://www.evfinder.com/NEVs.htm> (Page consultée 03/05/2011).
- FERGUSON S.M. et FOMAI S. (2011), « Institution-driven comparative advantage, complex goods and organizational choice », Working Paper n°879 : Institute of Industrial Economics, Stockholm, Suède, 38 pages.
- FISCHER A. (1990), « Contribution à l'étude des nouvelles relations de l'entreprise industrielle à l'espace géographique », in Benko G.B. (Ed.), *La dynamique spatiale de l'économie contemporaine*, Presses Universitaires de France, Paris, 396 pages.

- FLICHY P. (1995), *L'innovation technique : récents développements en sciences sociale : vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Repère la découverte, Paris, 256 pages.
- FLORIDA R. (1995), « Toward the Learning Region », *Futures, The Journal of Forecasting and Planning*, Vol.27, n°5, pp.527-536.
- FLORIDA R. (2005), *The flight of the creative class : the new global competition for talent*, HarperBusiness, New-York, 352 pages.
- FONTEZ M. et GRUMBERG P. (2010), « Les six défis de la batterie », *Science&Vie*, Hors-série n°31, Septembre 2010, pp.28-33.
- FORAY D. (1989), « Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.48, n°1, pp.16-34.
- FREEMAN C. (1995), « The national system of innovation in historical perspective », *Cambridge Journal of Economics*, Vol.19, n°1, pp.5-24.
- FREMONT A. (1976), *La Région, espace vécu*, Presses universitaires de France, Paris, 223 pages.
- FRERY F. (2000), « Les produits éternellement émergent : le cas de la voiture électrique », in MANCEAU D. et BLOCH A. (Eds.), *De l'idée au marché. Innovation et lancement de produits*, Vuibert - Collection Vital Roux, Paris, pp 234-264.
- FRESHMILE, Votre voiture électrique facile [En ligne] : <http://www.freshmile.com/bienvenue/> (Page consultée le 10/10/2013).
- FREYSSINET M. (2011), « The start of a Second Automobile Revolution. Corporate strategies and public policies », *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol.38, n°2, pp.69-84.
- FRIGANT V. (2005), « Vanishing hand versus Systems integrators - Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité », *Revue d'Economie Industrielle*, n°109, pp.29-52.

- FROST&SULLIVAN (2010), *Global Electric Vehicles Lithium-ion Battery Second Life and Recycling*, Novembre 2010, 157 pages.
- GABSZEWICZ J. et WAUTHY X. (2004), « Two-sided Markets and Price Competition with Multi-Homing », CORE Discussion Paper n°2004/30 : Center for Operations Research and Econometrics, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, 12 pages°;
- GAFFARD J-L. (1986), « Restructuration de l'espace économique et trajectoires technologiques », in AYDALOT P. (éd.), *Milieux innovateurs en Europe*, GREMI, Paris, pp.17-27.
- GAFFARD J-L. (1990), *Economie Industrielle et de l'Innovation*, Paris, Dalloz, 470 pages.
- GALBRAITH J-K. (2009), *L'État prédateur Comment la droite a renoncé au marché libre et pourquoi la gauche devrait en faire autant*, Seuil, Paris, 311 pages.
- GALLOUJ C. (2004), « Innovation et trajectoires d'innovation dans le grand commerce : une approche lancastérienne », *Innovations. Les Cahiers de l'innovation*, n°19, pp.75-99.
- GALLOUJ C., CHIADMI N. et LE CORROLLER C. (2010), Typologies et modèles d'innovation dans le secteur du tourisme, Colloque international : 11th Seminar in Service Management, Marketing, Strategy, Economics, Operations and Human Resources, IEA, 25-26-27-28/05/2010, Université d'Aix en Provence, La Londe Les Maures, 19 pages.
- GALLOUJ F. et WEINSTEIN O. (1997), « Innovation in services », *Research Policy*, n°26, pp.537-556.
- GAMBARDELLA A. et TORRISI S. (1998), « Does technological convergence imply convergence in markets ? Evidence from the electronics industry », *Research Policy*, n°27, pp.445-463.
- GARIBALDO F. (2011), Urban mobility as the product of a systemic change, Colloque international : 19^{ème} colloque international du GERPISA, Est-ce que la seconde révolution automobile est en cours ?, 8-9-10 juin 2011, Paris, 27 pages.

- GARRETT D.E. (2004), *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride*, Elsevier Academic Press, San Diego, 488 pages.
- GARUD R et KARNOE P. (2001), *Path Dependence and Creation*, Lawrence Erlbaum Associates, Londres, 440 pages.
- GAY C. et PICARD F. (2001), « Innovation, agglomération et espace : une mise en perspective de la littérature », *Economies et Sociétés*, Vol.6, n°4, pp.679-716.
- GEELS F.W. (2002), « Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : a multi-level perspective and a case-study », *Research Policy*, Vol.31, pp.1257–1274.
- GEELS F.W. (2004), « From sectoral systems of innovation to socio-technical systems : insights about dynamics and change from sociology and institutional theory », *Research Policy*, Vol.33, pp.897-920.
- GEELS F.W. (2005), « Processes and patterns in transitions and system innovations : Refining the coevolutionary multilevel perspective », *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.72, n°6, pp.681-696.
- GEELS F.W. (2011), « The multi-level perspective on sustainability transitions : responses to seven criticisms », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol.1, pp.24-40.
- GEELS F. et KEMP R. (2007), « Dynamics in sociotechnical systems : Typology of change processes and contrasting case studies », *Technology in Society*, Vol.29, n°4, pp.441-455.
- GEELS F.W. et SCHOT Y. (2007), « Typology of sociotechnical transition pathways », *Research Policy*, Vol.36, n°3, pp.399–417.
- GENUS A. et COLES A-M. (2008), « Rethinking the multi-level perspective of technological transitions », *Research Policy*, n°37, pp.1436–1445.
- GIDDENS A. (1987), *La constitution de la société*, PUF, Paris, 492 pages.
- GILLE B. (1978), *Histoire des Techniques : technique et civilisation, technique et sciences*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris, 1652 pages.

- GILLE B. (1979), « La Notion de « système technique ». Essai d'épistémologie technique », *Technique et Culture*, Vol.1, pp.8-18.
- GILLY J.P. et PECQUEUR B. (2000), « Régulation des territoires et dynamiques institutionnelles de proximité : le cas de Toulouse et des Baronnies », in GILLY J.P. et TORRE A. (Eds.), *Dynamiques de proximité*, L'Harmattan, Paris, pp.131-164.
- GORDON R. (1992), « PME réseau d'innovation et milieu technopolitain : la Silicon Valley », In MAILLAT D. et PERRIN J-C. (Eds.), *Entreprises innovatrices et développement territorial*, GREMI EDES, Neuchâtel, pp.195-220.
- GREEN POWER (2010), *Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles*, Green Power for Electric Cars, Janvier 2010, 86 pages.
- GREENSTEIN S. et KHANNA T. (1997), « What does industry convergence mean », in YOFFIE D. (Ed.), *Competing in the age of digital convergence*, Harvard Business School Press, Boston, pp.201-226.
- HAKMI L. et ZAOUAL H. (2008), « La dimension territoriale de l'innovation », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.17-35.
- HAMDOUCH A. (2002), « Complémentarités inter-firmes, préemption de partenaires et rendements croissants de coalition : Une formalisation des logiques de rapprochement entre firmes face aux nouvelles technologies et à la globalisation », *Région et Développement*, n°16, pp.161-189.
- HAMILTON W. (1980), *Electric Automobiles : Energy Environmental and Economic Prospects for the Future*, McGraw Hill Book Company, 425 pages.
- HARTMANN N. et ÖZDEMİR E.D. (2011), « Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030 », *Journal of Power Sources*, Vol.196, n°4, pp.2311-2318.

- HEATON L. (1995), « Convergence ou rattrapage ? Les télécommunications et les nouveaux médias au Japon », *Technologies de l'Information et Société*, Vol.7, n°2, pp.131-147.
- HENDERSON R.M. et CLARK K.B. (1990), « Architectural innovation : The reconfiguration of existing product technologies and failure of established firms », *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, n°1, pp.9-30.
- HICKS J.R. (1939), *Value and Capital : An Inquiry into Some Fundamental Principles of Economic Theory*, Clarendon Press, Oxford, 340 pages.
- HOBDAY M. (2000), « The project-based organisation°: an ideal form for managing complex products and systems°? », *Research Policy*, n°29, pp.871-893°;
- HOBDAY M. et RUSH H. (2000), « Editorial », *Research Policy*, n°29, pp.793–804.
- HOCHFELD C. (2010), « Moving towards the future : National Platform for Electromobility in Germany », Colloque international : EXPO 2010 Shanghai, 26 Mai, Shanghai, 30 pages.
- HUGHES T.P (1969), « Technological Momentum in History : Hydrogenation in Germany 1898-1933 », *Past and Present*, n°44, pp.106-132.
- HUGHES T.P. (1991), « Technological momentum », in Roe Smith M. et Marx L. (Eds.), *Does Technology Drive History ? : The Dilemma of Technological Determinism*, Massachusetts Institute of Technology, Boston, pp.101-113.
- INERIS (2011), *Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques – Analyse préliminaire des risques*, Institut national de l’environnement industriel et des risques, Juin 2011, 92 pages.
- INSEE (2009), *Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008*, Institut national de la statistique et des études économiques, Avril 2009.
- INSEE (2012), Enquête « Budget de famille – Equipement automobile des ménages en 2012 », Institut national de la statistique et des études économiques, [En ligne] : http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF05160 (Page consultée le 09/10/2013).

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2009), *World Energy Outlook 2009*, OCDE, Paris, 696 pages.
- JOLIVET E. (1999), L'innovation technologique comme processus d'apprentissage industriel : analyse de la formation et de la diffusion des connaissances dans le cas des hauts fourneaux à injection en France et au Japon [En ligne], Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Université de la Méditerranée - Aix-Marseille 2, 579 pages. Disponible sur : <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/08/97/PDF/THESEJOLIVET.pdf>
- JULLIEN B. et LUNG Y. (2011), *Industrie automobile la croisée des chemins*, La Documentation Française, Paris, 136 pages.
- KAHN R. (2010), « La dimension culturelle du développement territorial », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°4, pp.625-650.
- KAMPKER A., BURGGRAF P. et DEUTSKENS C. (2010), « Production structure for future electric vehicles components », *ATZautotechnology*, Vol.10, n°2, pp.12-16.
- KARAYAN R. (2009), « A123Systems recharge ses batteries en Bourse », *L'Usine Nouvelle*, n°3161, Septembre 2009 [En ligne] (Page consultée le 01/02/2010).
<http://www.usinenouvelle.com/article/a123systems-recharge-ses-batteries-en-bourse.N118180>
- KATZ M. et SHAPIRO C. (1985), « Network Externalities, Competition and Compatibility », *American Economic Review*, Vol.75, n°3, pp.424-440.
- KEBIR L. (2004), Ressource et développement : une approche institutionnelle et territoriale, Thèse de Doctorat : Sciences Economiques, Neuchâtel : Université de Neuchâtel, 187 pages.
- KEMP R. et PEARSON P. (2008), *Measuring eco-innovation*, final report of MEI project for DG Research of the European Commission, Avril 2008, 120 pages.
- KEMPTON W. et DHANJU A. (2006), « Electric Vehicles with V2G : Storage for Large - Scale Wind Power », *Windtech International*, Vol.2, n°2, pp.18-21.
- KEMPTON W. et KUBO T. (2000), « Electric-drive vehicles for peak power in Japan », *Energy Policy*, n°28, pp.9-18.

- KEMPTON W. et LETENDRE S. (1997), « Electric vehicles as a new power source for electric utilities », *Transportation Research Part D : transport and Environment*, Vol.2, n°3, pp.157-175.
- KEMPTON W. et TOMIC J. (2005), « Vehicle-to-grid power fundamentals : calculating capacity and net revenue », *Journal of Power Sources*, Vol.144, n°1, pp.268-279.
- KENDALL G. (2008), *Plugged in – the end of the oil age*, WWF European Policy Office, Bruxelles, 202 pages.
- KLEPPER S. (2010), « The origin and growth of industry clusters : The making of Silicon Valley and Detroit », *Journal of Urban Economics*, Vol.67, n°1, pp.15-32.
- KLEPPER S. et GRADY E. (1990), « The evolution of new industries and the determinants of market structure », *Rand Journal of Economics*, Vol.21, pp.24-44.
- KLEPPER S. et SIMONS K-L. (1997), « Technological Extinctions of Industrial Firms : An Inquiry into Their Nature and Causes », *Industrial and Corporate Change*, Vol.6, n°2, pp.379-460.
- KNIGHT F.H. (1921), *Risk, Uncertainty, and Profit*, The Riverside Press, Cambridge, 279 pages.
- KOBAYASHI B.H. (2005), « Does economics provide a reliable guide to regulating commodity bundling by firms ? A survey of the economic literature », *Journal of Competition Law & Economics*, Vol.1, n°4, pp.707-746.
- KOLEDA G. (2004), « Innovations horizontales et verticales, croissance et régimes technologiques », *Revue Economique*, Vol.55, n°2004-6, pp.1171-1990.
- KOLEVA P., RODET-KROICHVILI N. et VERCUEIL J. (2006), « Le cahier des charges théorique : une analyse économique évolutionnaire des institutions », in KOLEVA P., RODET-KROICHVILI N. et VERCUEIL J. (Eds.), *Nouvelles Europes. Trajectoires et enjeux économiques*, Presses de l'UTBM, Belfort-Montbéliard, pp.21-72.

- KROES P. (2002), « Design methodology and the nature of technical artefacts », *Design Studies*, n°23, pp.287-302.
- KURANI K., TURRENTINE T. et SPERLING D. (1994), « Demand for electric vehicles in hybrid households : an exploratory analysis », *Transport Policy*, n°1, pp.244-256.
- LA CENTRALE DES PARTICULIERS [En ligne] : <http://www.lacentrale.fr/>
- LAGUITTON O. (2010), « La chasse aux émissions de CO2 des véhicules », *Le journal de l'OVE*, Octobre 2010, pp.5-6.
- LANCASTER K.J. (1966), « A new approach to consumer theory », *The Journal of Political Economy*, Vol.54, n°2, pp.132-157.
- LANCASTER K.J. (1975), « Socially Optimal Product Differentiation », *American Economic Review*, Vol.65, n°4, pp.567-585.
- LANCASTER K.J. (1980), « Intra-industry trade under perfect monopolistic competition », *Journal of International Economics*, n°10, pp.151-175.
- LANCASTER K.J. (1991), *Modern Consumer Theory A new approach of consumer Theory*, Edward Elgar, Cheltenham, 242 pages.
- LANTNER R. (1974), *Théorie de la dominance économique*, Paris, Dunod, 325 pages.
- LAROCHE-DUPRAZ C., AWONO C. et VERMERSCH D. (2008), « Application de la théorie de Lancaster à la consommation de poulet de chair au Cameroun », *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n°86, pp.79-98.
- LARRUE P. (2002), *La coordination des activités d'innovation dans les consortiums de recherche sur les batteries pour véhicules électriques et hybrides : une analyse comparative Etats-Unis, Europe, Japon*, Rapport ADIT, Paris, 189 pages.
- LARRUE P. (2004), « Action collective et régimes technologiques dans les phases d'émergence : le cas du consortium PNGV », *Revue d'Economie Industrielle*, Vol.106, pp.31-48.

- LAUGIER R. (2012), *L'étalement urbain en France – synthèse documentaire*, Centre de ressources documentaires Aménagement, Logement, Nature, Février 2012, 23 pages.
- LE BAS C. (1989), « Où en est l'analyse économique du changement technique ? À propos de Technical Change and Economic Theory », *Revue d'économie industrielle*, Vol.48, n°48, pp.84-91.
- LEBLANC B. (2010), « Véhicule électrique : Renault planche sur les moteurs, EdF sur les prises », *L'Usine Nouvelle*, Avril 2010, n°3188.
- LECUYER C. (2006), *Making Silicon Valley Innovation and the growth of high tech 1930-1970*, MIT Press, Cambridge, 408 pages.
- LE DORTZ L. et LEQUEUX F. (1999), Dynamique concurrentielle et coopération dans le cadre d'une industrie émergente : l'exemple du multimédia, Colloque de l'ADIS « La coopération industrielle : diversité et synthèse », Faculté Jean Monnet, 3-4 mai 1999, Sceaux, 22 pages.
- LEFEBVRE K. et ALVES C. (2011), « La météo de l'auto – prix des pièces », *Auto Moto*, Mai 2011, n°188.
- LE MOIGNE J-L. (1977), *La théorie du système général : théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris, 338 pages.
- LENFLE S. et MIDLER C. (2003), « Innovation in Automotive Telematics Services : Characteristics of the Field and Management Principles », *International Journal of Automotive Technology & Management*, Vol.3, n°1/2, pp.144-159.
- LEONARD-BARTON D. (1992), « Core capabilities and Core rigidities : a paradox in managing new product development », *Strategic Management Journal*, Vol.13, pp.111-125.
- LEQUEUX F. (2002), Concurrence et effets de dominance économique dans l'industrie multimédia, Thèse de Doctorat : Sciences économiques, Paris : Université Paris I Panthéon-Sorbonne, 552 pages.

- LESGARDS V. (2011), « Grappes d'innovations sur les réseaux électriques et les concessions des collectivités locales (eau, déchets). Une lecture schumpétérienne du *smart grid* », *Innovations. Les Cahiers de l'innovation*, Vol.1, n°34, pp.57-76.
- LESOURNE J. (1976), *Les systèmes Du Destin*, Dalloz, Paris, 449 pages.
- LESOURNE J. (2009), *Les crises et le XXIe siècle*, Odile Jacob, Paris, 345 pages.
- LIEBOWITZ S. et MARGOLIS E. (1995), « Path dependence, Lock-in and History », *Journal of Law, Economics and Organization*, Vol.11, n°1, pp.205-226.
- LINDAHL M. et ÖLUNDH G. (2001), The Meaning of Functional Sales, Colloque international : 8th International Seminar on Life Cycle Engineering, June 18-20 2001, Varna, Bulgarie, 10 pages.
- LINDE A. (2010), *Electric Cars The Future is Now!: Your Guide to the Cars You Can Buy Now and What the Future Holds*, Voloce, Londres, 128 pages.
- LOWE M., TOKUOKA S., TRIGG T. et GEREFFI G. (2010), *Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain*, Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University, Octobre 2010, 76 pages.
- LUNDVALL B. (1985), *Product innovation and user-producer interaction*, Aalborg University Press, Aalborg, 39 pages.
- LUNDVALL B-A. (1988), « Innovation as an interactive process : from user-producer interaction to the national system of innovation », in DOSI G., FREEMAN C. ET NELSON R. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, London, pp.349-369.
- LUTSKY A. (2009), « Gaz, pétrole et électricité sont très corrélés en termes de prix », *L'Usine Nouvelle*, Janvier 2009 [En ligne] (Page consultée le 27/09/2010).
<http://www.usinenouvelle.com/article/gaz-petrole-et-electricite-sont-tres-correles-en-termes-de-prix.N28887>
- L'USINE NOUVELLE (2008), « Un véhicule électrique est indissociable de son système de recharge », Raphaëlle KARAYAN, n°3153, 01/07/08.

- MAILLAT D. (1994), « Comportements spatiaux et milieux innovateurs », in AUVRAY J-P., BAILLY A., DERYCKE P-H. et HURIOT J-M. (Eds.), *Encyclopédie d'économie spatiale - Concepts, Comportements, Organisations*, Economica, Paris, pp.255-262.
- MALERBA F. (2002.a), « Les régimes technologiques et les systèmes sectoriels d'innovation en Europe », in J-L. TOUFFUT (Ed.), *Institutions et innovation : de la recherche aux systèmes sociaux d'innovation*, Albin Michel, Paris, pp. 232–247.
- MALERBA F. (2002.b), « Sectoral systems of innovation and production », *Research Policy*, Vol.31, n°2, pp.247-264.
- MALERBA F. et ORSENIGO L. (1993). « Technological regimes and firm behavior », *Industrial and Corporate Change*, Vol.2, pp.45-74.
- MANUEL D'OSLO (1992), *La mesure des activités scientifiques et technologiques – Principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, OCDE, Paris, 162 pages.
- MARSHALL A. (1919), *Industry and Trade, A study of industrial technique and business organization; and of their influences on the conditions of various classes and nations*, Macmillan, Londres, 679 pages.
- MARSHALL A. (1920), *Principles of economics*, Macmillan, Londres, 627 pages.
- MASON E.S. (1957), *Economic concentration and the monopoly problem*, Harvard University Press, Cambridge, 411 pages.
- MASSARD N., TORRE A. et CREVOISIER O. (2004), « Proximité Géographique et Innovation », in PECQUEUR B. et ZIMMERMANN J-B. (Eds.), *Economie de Proximités*, Hermès, Paris, pp.155-183.
- MASSON S.J. (2010), « Terres rares, la voiture électrique en danger ? », *Moteur Nature* [En ligne] (Page consultée le 30/12/2010) : http://www.moteurnature.com/actu/uneactu.php?news_id=25827

- MASSOT M-H. (Dir.) (2010), *Mobilités et Modes de vie Métropolitains, Les intelligences du quotidien*, éd. l’Oeil d’Or, Paris, 330 pages.
- MATUTES C. et REGIBEAU P. (1992), « Compatibility and Bundling of Complementary Goods in a Duopoly », *Journal of Industrial Economics*, Vol.40, n°1, pp.37-54.
- MCKINSEY (2012), *Battery technology charges ahead*, McKinsey Quaterly, Juillet 2012, 16 pages.
- MEEDAT (2008), *économie de fonctionnalité*, Rapport final au Ministre d’Etat, Ministre de l’Energie, de l’Ecologie, du Développement durable et de l’Aménagement du Territoire, Grenelle de l’Environnement, Octobre 2008, 58 pages.
- MEKKI A. (2011), Les modèles économiques de la voiture en partage. Une approche par les bouquets, Mémoire de Master Recherche : Consultants et chargés d’études socio-économiques, Paris : Université Paris 7 Denis-Diderot, 74 pages.
- MENANTEAU P., FINON D. et LAMY M-L. (2003), « L’intégration de la production intermittente dans les marchés électriques libéralisés : des surcoûts techniques aux pénalités économiques imposées par les règles de fonctionnement des marchés », *Cahier de recherche LEPII*, Série EPE, n°32, pp.1-17.
- MERIDIAN (2008), *The trouble with lithium 2 – Under the Microscope*, Meridian International Research, Mai 2008, 58 pages.
- METCALFE J.S. (1988), « Evolution and economic change », in Silberston Z.A. (Ed.), *Technology and Economic Progress*, Palgrave Macmillan, Londres, 300 pages.
- MDd (2012), Direction Générale de l’Energie et du Climat, Ministère du Développement durable [En ligne] (Page consultée le 06/01/2013).
http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/petrole/se_cons_fr.htm
- MICHAUX F. (2010), *Monographies des plans nationaux d’action en faveur de l’électromobilité*, Confrontations Europe, Avril 2010, 45 pages.

- MILBORROW D. (2001), « Penalties for intermittent sources of energy », Working Paper : Performance and Innovation Unit, Department for Business, Innovation and Skills, Londres, Grande-Bretagne, 17 pages.
- MINEFI (2006), *Technologies clés 2010*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Les Éditions de l'Industrie, Septembre 2006, 46 pages.
- MITCHELL W. et SINGH K. (1996), « Survival of businesses using collaborative relationships to commercialize complex goods », *Strategic Management Journal*, n°17, pp.169-195.
- MISTE (2011), *La filière des batteries Lithium-Ion dans l'industrie automobile – État de l'art*, Rapport collectif Mastère Spécialisé : Intelligence scientifique, technique et économique, Paris : ESIEE Paris, 58 pages.
- MOATI P., RANVIER M. et SURY R. (2006), « Des bouquets pour répondre globalement aux besoins des clients – éléments pour l'analyse économique d'une nouvelle forme d'organisation des marchés dans le régime de croissance post-fordien », Cahier de recherche n°230 : Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie, Paris, France, 138 pages.
- MOLLARD A. et PECQUEUR B. (2007), « De l'hypothèse au modèle du panier de biens et de services. Histoire succincte d'une recherche », *Economie Rurale*, n°300, pp. 110-114.
- MOLLARD A., PECQUEUR B. et MOALLA M. (2005), « Offre de produits et services territorialisés et approche lancastérienne de la demande de biens combinés », in Torre A ; Filippi M (Eds.), *Proximités et changements socio-économiques dans les mondes ruraux*, INRA Editions, Paris, pp.73-93.
- MOORE G. et DAVIS K. (2004), « Learning the Silicon Valley Way », In BRESNAHAN T. et GAMBARDELLA A. (Eds.), *Building High-Tech Clusters. Silicon Valley and Beyond*, Cambridge University Press, Cambridge, pp.7-39.

- MORGAN K. (1997), « The Learning Region : institutions, innovation and regional renewal », *Regional Studies*, Vol.31, pp.491-503.
- MOWERY D. et ROSENBERG N. (1979), « The influence of market demand upon innovation : a critical review of some recent empirical studies », *Research Policy*, Vol.8, n°2, pp.102-153.
- MURMANN J.P. et FRENKEN K. (2006), « Towards a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change », *Research Policy*, Vol.35, n°7, pp.925–952.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998), *Effectiveness of the United States Advanced Battery Consortium As a Government-Industry Partnership*, National Academy Press, Washington, 90 pages.
- NDIAYE A. (2012), « Territoires, Clusters et EcoQuartiers : un modèle de développement urbain innovant », in Boutillier S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.), *L'innovation verte. De la théorie aux bonnes pratiques*, pp.347-371.
- NELSON R.R. et WINTER S.G. (1977), « In search of useful theory of innovation », *Research Policy*, Vol.6, n°1, pp.36-76.
- NELSON R. et WINTER S.G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, 454 pages.
- NEXT 10 (2011), *Powering innovation : California is leading the shift to Electric Vehicles from R&D to early adoption*, Next 10, Décembre 2011, 36 pages.
- NICOLON A. (1984), *Le véhicule électrique : mythe ou réalité ?*, Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 136 pages.
- NORTH D.C. (1990), *Institutions, Institutional change and Economic performance*, Cambridge University Press, Cambridge, 159 pages.
- NOVELECT (2003), « Un véhicule électrique « SIMPA » dans la ville », *Les cahiers de l'innovation*, Electricité de France, Décembre 2013, n°447.

- OIE (2013), Evolution des prix de l'électricité pour les ménages et les industriels en Europe entre 2007 et 2012, Observatoire de l'Industrie Electrique [En ligne] (Page consultée le 25/04/2013) : <http://www.observatoire-electricite.fr/Evolution-des-prix-de-l>
- OLIVER WYMAN (2009), *E-Mobility 2025*, Septembre 2009, 123 pages.
- OVE (2008), *L'Observatoire du Véhicule d'Entreprise fait sa révolution !*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Dossier de Presse, Février 2008, 20 pages.
- OVE (2009.a), *Tout savoir sur les véhicules électriques*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Les Cahiers Verts, Mai 2009, 52 pages.
- OVE (2009.b), *L'autopartage en France et dans le monde, la mobilité de demain ?*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Cahiers « Gestion des véhicules », Septembre 2009, 48 pages.
- OVE (2010), *L'écosystème du véhicule électrique : Panorama mondial des stratégies et des forces en présence*, Observatoire du Véhicule d'Entreprise, Juillet 2010, 46 pages.
- OTA (1995), *Advanced Automotive Technology : Visions of a Super-Efficient Family Car*, Office of Technology Assessment, Septembre 1995, 314 pages.
- PATRUCCO P-P. (2012), « Innovation platforms, complexity and the knowledge-intensive firm », in DIETRICH M. et KRAFFT J. (Eds.), *Handbook on the Economics and Theory of the Firm*, Edward Elgar, Cheltenham, pp.372-392.
- PATRY M (1994), « Faire ou faire-faire : la perspective de l'économie des organisations », *Cahiers Cirano*, n°94c-1, 26 pages.
- PAUL-DUBOIS-TAINE O. (2010), *Les nouvelles mobilités – Adapter l'automobile aux modes de vie de demain*, Rapports et Documents du Centre d'Analyse Stratégique, Novembre 2010, 111 pages.
- PAULRE B. (1997), « Evolutionnisme contemporain et auto-organisation », *Économie appliquée*, n°3, pp.121-150.

- PAULRE B. (1999), « La théorie évolutionniste de la firme comme programme de recherche », in BASLE M., DELORME R., LEMOIGNE J.L. et PAULRE B. (Eds.), *Approches évolutionnistes de l'entreprise et de l'industrie*, L'Harmattan, Paris, pp.11-47.
- PAVITT K. (1998), « Technologies, Products and Organization in the Innovating Firm : what Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn't », *Industrial and Corporate Change*, Vol.7, pp.433-452.
- PECQUEUR B. (2001), « Qualité et développement territorial : l'hypothèse du panier de biens », *Economie Rurale*, n°261, pp.37-49.
- PECQUEUR B. (2004), « Vers une géographie économique et culturelle autour de la notion de territoire », *Géographie et Cultures*, n°49, pp.71-86.
- PECQUEUR B. (2006), « Le tournant territorial de l'économie globale », *Espaces et sociétés*, Vol.2-3, n°124-125, pp.17-32.
- PECQUEUR B. (2010), « Le territoire comme entité d'innovation et de mobilisation des populations face à la mondialisation des échanges », in GODET M., DURANCE P. et MOUSLI M. (Eds.), *Créativité et innovation dans les territoires*, Les Rapports du CAE, n°92, pp.291-303.
- PECQUEUR B. et ZIMMERMANN J-B. (2004), *Économie de proximité*, Lavoisier, Paris, 264 pages.
- PENNINGS J. et PURANAM P. (2001), Market Convergence & Firm Strategy^o: new directions for theory and research, Colloque international : The Future of Innovation Studies, ECIS Conference, 20-23/09/2001, Eindhoven, Pays-Bas, 37 pages.
- PERROT A. (1995), « Ouverture à la concurrence dans les réseaux : l'approche stratégique de l'économie des réseaux », *Économie et Prévision*, Vol.119, n°3, pp.59-71.
- PERSSON M. et AHLSTROM P. (2005), « Managerial issues in modularizing complex products », *Technovation*, Vol.26, n°11, pp.1201-1209.

- PEW CHARITABLE TRUSTS (2011), *Who's winning the Clean Energy Race*, Avril 2011, 51 pages.
- PIGOU A.C. (1920), *The Economics of Welfare*, Macmillan, Londres, 551 pages.
- PIKE RESEARCH (2009), *Electric vehicles: 10 predictions for 2010*, Octobre 2009, 14 pages.
- PHILIPPIN Y. (2010), « À Grenoble, le défi de batteries made in France », *Libération*, n°9139, Jeudi 30 Septembre 2010.
- PORTER M.E. (1998), *On Competition*, Harvard Business Press, Cambridge, 485 pages.
- POSTEL-VINAY G. (2009), « La voiture électrique, un nouvel axe des politiques industrielles », *Réalités industrielles*, Août, pp.67-74.
- PRETTENTHALER F.E. et STEININGER K.W. (1999), « From Ownership to Service Use Lifestyle : The Potential of Car Sharing », *Ecological Economics*, n°28, pp.443-453.
- PROAG S-L (2011), Analyse comparative des « Low Emission Zones » européennes : quelle pertinence pour la faisabilité d'une « Zone d'Action Prioritaire pour l'Air » à Paris, Projet de Fin d'Etudes, Paris : ENSTA ParisTech, 146 pages.
- RALLET A. (1995), « Les technopoles comme forme d'apprentissage des liens industrie-recherche-formation : le cas français », in LAZARIC N. et MONNIER J.M. (Eds.), *Coordination économique et apprentissage des firmes*, Economica, Paris, 254 pages.
- RALLET A. (1996), « Convergence technologique et organisation industrielle de l'audiovisuel, de l'information et des télécommunications », in BROUSSEAU E., PETIT P. ET PHAN D. (Eds.), *Mutations des télécommunications, des industries et des marchés*, Economica, Paris, pp.263-295.
- RALLET A. et TORRE A. (1995), *Économie industrielle et économie spatiale*, Economica, Paris, 473 pages.
- RALLET A. et TORRE A. (2005), « Proximity and Localization », *Regional Studies*, Vol.9, n°1, pp.47-60.

- RATTI C. (2009), *Les technologies de l'information sauveront-elles la planète USA ?*, Institut pour la Ville en Mouvement, Décembre 2009, 4 pages.
- REMY M. (2010), « Si les terres rares flambent, il y aura un surcoût pour de nombreux industriels », *L'Usine Nouvelle*, Novembre 2010, n°3211 [En ligne] :
<http://www.usinenouvelle.com/article/si-les-terres-rares-flambent-il-y-aura-un-surcout-pour-de-nombreux-industriels.N140950> (Page consultée le 04/04/2011).
- RENAULT (2005), *Rapport annuel 2004*, Renault SA, Avril 2005, 71 pages.
- RENAULT (2006), *Rapport annuel 2005*, Renault SA, Avril 2006, 97 pages.
- RENAULT (2007), *Rapport annuel 2006*, Renault SA, Avril 2007, 94 pages.
- RENAULT (2008), *Rapport annuel 2007*, Renault SA, Avril 2008, 94 pages.
- RENAULT (2009), *Rapport annuel 2008*, Renault SA, Avril 2009, 66 pages.
- RENAULT (2010), *Rapport annuel 2009*, Renault SA, Avril 2010, 45 pages.
- RENAULT (2011), *Rapport annuel 2010*, Renault SA, Avril 2011, 57 pages.
- RENAULT (2013), *Drive the change* [En ligne] (Page consultée le 17/09/2013).
<http://media.renault.com/global/en-gb/renaultgroup/MediaCentre/PressReleases.aspx>
- REQUIER-DESJARDINS D. (2009), *Territoires, identités, patrimoine: une approche économique ?, développement durable et territoires* [En ligne] (Page consultée le 25/01/2013).
<http://developpementdurable.revues.org/7852>
- RESEAU DE TRANSPORT D'ELECTRICITE (2010), *Quel est l'impact de l'arrivée des véhicules électriques sur la courbe de consommation d'électricité ?* [En ligne] (Page consultée le 04/07/2011) : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=vehicules&action=imprimer>
- RICHEZ-BATTESTI N. (2008), « Innovations sociales et dynamiques territoriales. Une approche par la proximité », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.36-51.
- RIFKIN J. (2011), *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, Palgrave Macmillan, 304 pages.

- RIP A. et KEMP R. (1998), « Technological Change. Human Choice and Climate Change », in RAYNER S. et MALONE E.L. (Eds.), *Human Choice and Climate Change*, Batelle Press, Columbus, pp.327-399.
- ROBINSON J. (1933), *The economics of imperfect competition*, Macmillan, Londres, 352 pages.
- ROCHET J-C. et TIROLE J. (2003), « Platform Competition in Two-Sided Markets », *Journal of the European Economic Association*, Vol.1, n°4, pp.990–1029.
- ROCHET J-C. et TIROLE J. (2006), « Two-Sided Markets : A Progress Report », *RAND Journal of Economics*, vol.37, n°3, pp.645-667.
- ROLAND BERGER (2009), *Powertrain 2020 – The Future Drives Electric*, Roland Berger Strategy Consultants, Septembre 2009, 100 pages.
- ROLAND BERGER (2011), *Global study on the development of the automotive Li-ion battery market*, Roland Berger Strategy Consultants, Septembre 2011, 79 pages.
- ROSENTHAL S-S. et STRANGE W-C. (2004), « Evidence on the nature and sources of agglomeration economies », In Henderson J-V. et Thisse J-F. (Eds.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, Amsterdam, 1082 pages.
- ROSKILL (2009), *The Economics of Lithium*, Chemetall – Roskill, Septembre 2009, 324 pages.
- SAADA B. (2011), *Perspectives technologiques du véhicule électrique : État des lieux en Californie et Méthode d'évaluation*, Rapport du Consulat Général de France à San Francisco, Décembre 2011, 66 pages.
- SAFT (2009), Saft, leader mondial des batteries pour l'aéronautique et le spatial, Communiqué de presse n°28-09 [En ligne] (Page consultée le 15/08/2010) :
<http://www.saftbatteries.com/fr/press/press-releases/saft-leader-mondial-des-batteries-pour-l%E2%80%99a%C3%A9ronautique-et-le-spatial>

- SAVIOTTI P.P. (1996), *Technological Evolution, Variety and the Economy*, Edward Elgar, Londres, 223 pages.
- SAVIOTTI P.P. et METCALFE J.S. (1984), « A theoretical approach to the construction of technological output indicators », *Research Policy*, n°13, pp.141-151.
- SAXENIAN A. (1994), *Regional Advantage : Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*, Harvard University Press, Cambridge, 240 pages.
- SCHILLING M.A. (2000), « Toward a general systems theory and its application to interfirm product modularity », in GARUD R., KUMARASWAMY A. et LANGLOIS R.N. (Eds.), *Managing in the modular age*, Blackwell Publishing, Oxford, pp.172-202.
- SCHMALENSEE R. (1982), « Commodity Bundling by a Single-Product Monopolist », *Journal of Law and Economics*, n°25, pp.67-71.
- SCHMALENSEE R. (1984), « Gaussian Demand and Commodity Bundling », *Journal of Business*, Vol.57, n°1, pp.211-230.
- SCHMOOKLER J. (1962), « Economic sources of inventive activity », *Journal of Economic History*, Vol.22, n°1, pp.1-20.
- SCHMOOKLER J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, Cambridge, 332 pages.
- SCHOT Y. et GEELS F.W. (2008), « Strategic niche management and sustainable innovation journeys : theory, findings, research agenda and policy », *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol.20, pp.537-554.
- SCHOTT B. (2010), *Lithium - begehrter Rohstoff der Zukunft; eine Verfügbarkeitsanalyse*, Baden-Württemberg: Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff Forschung, Juillet 2010, 15 pages.
- SCHRADER U. (1999), « Customer Acceptance of Eco-Efficient Services : A German Perspective », *Greener Management International*, Vol.25, pp.105-121.

- SCHUMPETER J. (1934), *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press, Cambridge, 255 pages.
- SCHUMPETER J.A. (1942), *Capitalism, Socialism, and Democracy*, Harper & Row, New York, 381 pages.
- SCHWARTZ (2011), *Etude technico-économique pour la mise en oeuvre nationale de l'électro-mobilité au Luxembourg*, Schwartz and Co, Décembre 2011, 122 pages.
- SCHWARTZ et GINDROZ (2005), *Le stockage Electrochimique*, ADEME - Dossier « Stockage de l'Energie », Janvier 2005, 107 pages.
- SCOTT W.R. (2001), *Institutions and organizations*, Sage Publications (2^{ème} ed.), London, 255 pages.
- SECOMANDI F., SNELDERS D., HULTINK H.J. et BADKE-SCHAUB P.G. (2008), « Towards a model of goods and services for the analysis of innovation and design », in GANZ W., KICHERER F. et SCHLETZ A. (Eds.), *Conference proceedings of Reser 2008 - New horizons for the role and production of services*, 25-26 Septembre 2008, Stuttgart, pp.1-20.
- SHOCKER A.D., BAYUS B.L. et KIM N. (2004), « Product complements and substitutes in the real world : The relevance of « other products » », *Journal of Marketing*, Vol.68, pp.28-40.
- SHACKET S.R. (1979), *The Complete Book of Electric Vehicles*, Domus Books, Chicago, 168 pages.
- SHIROUZOU N. (2009), « Technology Levels Playing Field in Race to Market Electric Car », *The Wall street Journal digital network*, Lundi 12 Janvier 2009 [En ligne] : <http://online.wsj.com/news/articles/SB123172034731572313> (Page consultée le 30/04/2010).
- SIA CONSEIL (2010), *Les perspectives du marché des motorisations alternatives*, Septembre 2010, 37 pages.
- SIERRA C. (1997), « Proximité(s), interactions technologiques et territoriales : une revue », *Revue d'Economie Industrielle*, n°82, pp.7-38.

- SIMON H.A. (1947), *Administrative Behavior. A study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*, MacMillan, New York, 259 pages.
- SIMON H.A. (1962), « The architecture of complexity, Proceedings of the American Philosophical Society », in GARUD R., KUMARASWAMY A. et LANGLOIS R.N. (Eds.), *Managing in the modular age*, Blackwell Publishing, Oxford, pp.15-38.
- SIMON H.A. (1969), *The Science of the Artificial*, The MIT Press, Cambridge, 231 pages.
- SMITS R. (2002), « Innovation studies in the 21st century », *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.69, pp.861-883.
- SONNAC N. (2006), « Médias et publicité, ou les conséquences d'une interaction entre deux marchés », *Le Temps des médias*, n°6, pp.49-58.
- SOUCHON A. (2006), De l'intermodalité à la multimodalité : enjeux, limites et perspectives, Mémoire Master : Transports Urbains et Régionaux de Personnes, Lyon : Université Lumière Lyon 2, 108 pages.
- SPERLING D. (1995), *Future Drive – Electric Vehicles and Sustainable Transportation*, Island Press, Washington, 175 pages.
- SPERLING D. (1997), *Future Drive : Electric Vehicles and Sustainable Transportation*, Island Press, Washington DC, 191 pages.
- STAHEL W. (1994), « The Utilisation-Focused Service Economy°: Resource Efficiency and Product-Life Extension », in ALLENBY B.R. (Ed.), *The Greening of Industrial Ecosystems*, National Academy Press, Londres, pp.178-190.
- STAHEL W. (1997), « The Functional Economy°: Cultural and Organizational Change », in RICHARDS D.J. (Ed.), *The Industrial Green Game : Implications for Environmental Design and Management*, National Academy Press, Londres, pp.91-100.
- STAHEL W. (2006), *The Performance Economy*, Palgrave Macmillan, London, 208 pages.

- STAHEL W. et GIARINI O. (1989), *The Limits to Certainty°: Facing Risks in the New Service Economy*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 168 pages.
- STOHR W. (1986), « Regional Innovation Complexes », *Papers in Regional Science*, Vol.59, n°1, pp.29–44.
- STORPER M. (1993), « Regional « worlds » of production : learning and innovation in the technology districts of France, Italy and the USA », *Regional Studies*, n°27, pp.433-455.
- STREMERSCHE S. et TELLIS G.J. (2002), « Strategic bundling of products and prices : A new synthesis for marketing », *Journal of Marketing*, Vol.66, n°1, pp.55-72.
- STURGEON T. (2002), « Modular production networks°: a new American model of industrial organization », *Industrial and Corporate Change*, Vol.11, n°3, pp.451-496.
- SUAREZ F. et UTTERBACK J.M. (1995), « Dominant Designs and the Survival of Firms », *Strategic Management Journal*, n°16, pp.415-430.
- TCG CONSEIL (2011), *L'après-vente en France. Evolution à 2020 et comparatif européen*, Juin 2011, 3 pages.
- TEECE D.J. (1984), « Economic analysis and strategic management », *California Management Review*, Vol.26, n°3, pp.87-110.
- TEECE D.J. (1986), « Profiting from technological innovation », *Research Policy*, Vol.15, n°6, pp.285–305.
- TIMOTHY E. (2004), « Integration of Motor Vehicle and Distributed Energy Systems », in Cleveland C.J. (Ed.), *Encyclopedia of Energy*, Elsevier, New-York, pp.475-486.
- TISCHNER U., VERKUIJL M. et TUKKER A. (2002), *Product Service Systems°: best practice document*, SusProNet, Février 2002, 133 pages.
- TOMIĆ J. et KEMPTON W. (2007), « Using fleets of electric-drive vehicles for grid support », *Journal of Power Sources*, Vol.168, n°20, pp.459-468.

- TORRE A. et RALLET A. (2005), « Proximity and localization », *Regional Studies*, Vol.39, n°1, pp.47-59.
- TSE A. (2010), « EV Automakers Face Coercion from China », *The Wall Street Journal* Vendredi 17 Septembre 2010.
- TUSHMAN M. et ANDERSON P. (1986), « Technological discontinuities and organization environment », *Administrative Science Quarterly*, Vol.31, n°3, pp.439-465.
- ULRICH K. (1995), « The role of product architecture in the manufacturing firm », *Research Policy*, Vol.24, pp.419-440.
- ULRICH K. et EPPINGER S.D. (2000), *Product Design and Development*, McGraw-Hill (2^{ème} éd.), New-York, 384 pages.
- UTTERBACK J.M. et ABERNATHY W.J. (1975), « A dynamic model of process and product innovation », *The International Journal of Management Science*, Vol.3, n°6, pp.639-656.
- UTTERBACK J.M. et SUAREZ F. (1993), « Innovation, Competition and Industry Structure », *Research Policy*, Vol.22, n°1, pp. 1-21.
- VAILEANU-PAUN I. et BOUTILLIER S. (2012), « Développement durable - Du paradigme de l'économie industrielle à l'économie de la fonctionnalité », in BOUTILLIER S., DJELLAL F., GALLOUJ F., LAPERCHE B. et UZUNIDIS D. (Eds.), *L'innovation verte - de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.31-67.
- VAN BREE B., VERBONG G.P.J. et KRAMER G.J. (2010), « A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles », *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.77, pp.529-540.
- VAN NIEL J. (2007), *L'économie de fonctionnalité°: définition et état de l'art*, Université Technologique de Troyes, Mai 2007, 17 pages.
- VARIAN H.R., FARRELL J.V. et SHAPIRO C. (2004), *The Economics of Information Technology : An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, 102 pages.

- VELTZ P. (1996), *Mondialisation, villes et territoires. L'économie d'archipel*, Presses Universitaires de France, Paris, 262 pages.
- VERCUEIL J. (2013), « Vers une économie institutionnelle du changement : clarifier les concepts et leurs articulations », *Economie Appliquée*, Vol.116, n°1, pp.31-58.
- VERDEVOYE A-G. (2010), « Renault veut retrouver 30 % du marché hexagonal, son score d'il y a quinze ans », *La Tribune*, Vendredi 16 Avril 2010 [En ligne] :
<http://www.latribune.fr/journal/edition-du-1604/industrie-et-services/403373/renault-veut-retrouver-30-du-marche-hexagonal-son-score-d-il-y-a-quinze-ans.html> (Page consultée le 16/04/2010).
- VERDEVOYE A-G. (2011.a), « Daimler et Bosch s'allient dans les moteurs électriques », *La Tribune*, Mardi 12 Avril 2011 [En ligne] (Page consultée le 12/04/2011).
<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20110412trib000614899/daimler-et-bosch-s-allient-dans-les-moteurs-electriques-.html>
- VERDEVOYE A-G. (2011.b), « PSA et BMW vont collaborer dans les véhicules hybrides », *La Tribune*, Mercredi 02 Février 2011 [En ligne] (Page consultée le 02/02/2011).
<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20110202trib000598081/psa-et-bmw-vont-collaborer-dans-les-vehicules-hybrides.html>
- VERDEVOYE A.G. (2013), « Les ventes de voitures « vertes » électriques et hybrides décollent en France », *La Tribune*, Jeudi 21 Février 2013 [En ligne] :
<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/20130221trib000750232/les-ventes-de-voitures-vertes-electriques-et-hybrides-decollent-en-france.html> (Page consultée le 21/02/2013).
- VERNIMMEN, La référence pour les professionnels et les étudiants de la finance [En ligne] (Page consultée le 06/11/2011).
http://www.lesechos.fr/finance-marches/vernimmen/definition_surface-financiere.html
- VOLKSWAGEN (2010), *Annual report 2010*, Volkswagen AG, Mars 2010, 316 pages.
- WAKEFIELD E.H. (1994), *History of the Electric Automobile : Battery-Only Powered Cars*, Society of Automotive Engineers Press, Warrendale, 333 pages.

- WALLER B. (2011), Developing a new Plug-in Electric Vehicle ecosystem for automotive distribution, Colloque international : 19^{ème} colloque international du GERPISA, Est-ce que la seconde révolution automobile est en cours ?, 8-9-10/06/2011, Paris, 10 pages.
- WALSH V. et LODORFOS G. (2002), « Technological and Organizational Innovation in Chemicals and Related products », *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.14, n°3, pp.273-298.
- WAUTHY X. (2008.a), « Concurrence et régulation sur les marchés de plateforme : une introduction », *Reflète et perspectives de la vie économique*, Vol.0, n°1, pp.39-54.
- WAUTHY X. (2008.b), « No free lunch sur le Web 2.0! Ce que cache la gratuité apparente des réseaux sociaux numériques », *Regard économiques*, n°59, pp.1-10.
- WEAVER B. (2007), « Research proposal : industry convergence - driving forces, factors and consequences », Colloque : Nordic Academy of Management Conference, Lund University, 8/10/2007, Suède, 20 pages.
- WERNERFELT B. (1984), « A resource-based view of the firm », *Strategic Management Journal*, Vol.5, pp.171-180.
- WESTBROOK M.H. (2001), *The Electric Car : Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars*, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, 198 pages.
- WEYL G. (2010), « A Price Theory of Multi-sided Platforms », *American Economic Review*, Vol.100, n 4, pp.1642-1672.
- WHINSTON M. (1990), « Tying, Foreclosure, and Exclusion », *American Economic Review*, Vol.80, n°4, pp.837-860.
- WHITMARSH L.E. (2012), « How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research ? », *Journal of Transport Geography*, Vol.24, pp.483-487.
- WILLIAMSON O.E (1975), *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, The Free Press, New-York, 303 pages.

- WILLIAMSON O.E (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, The Free Press, New-York, 468 pages.
- WILLINGER M. et ZUSCOVITCH E. (1993), « Efficience, irréversibilités et constitution des technologies », *Revue d'Economie Industrielle*, n°65, pp.7-22.
- WINDRUM P. et GARCIA-GOÑI M. (2008), « A neo-Schumpeterian model of health services innovation », *Research Policy*, Vol.37, n°4, pp.649-672.
- WINTER S. (1984), « Schumpeterian competition in alternative technological regimes », *Journal of Economic Behavior and Organization*, n°5, pp.287-320.
- XERFI (2010), *L'autopartage en France à l'horizon 2015*, Alexandre BOULEGUE, Novembre 2010, 144 pages.
- ZAOUAL H. (2008), « Présentation générale : Innovation et dynamiques de proximité. Une clef de lecture », *Marché et organisations*, Vol.2, n°7, pp.5-16.
- ZARING O., BARTOLOMEO M., EDER P., HOPKINSON P., GROENEWEGEN P., JAMES P., DE JONG P., NIJHUIS L., SCHOLL G., SLOB A. et ÖRNINGE M. (2001), *Creating Eco-efficient Producer Services*, Gothenburg Research Institute, Février 2001, 503 pages.
- ZIMMERMAN J-B. (1989), « Groupes industriels et grappes technologiques », *Revue d'économie industrielle*, Vol.47, n°1, pp.89-102.
- ZIMMERMAN J-B. (1995), « Le concept de grappes technologiques : un cadre formel », *Revue Economique*, Vol.46, n°5, pp.1263-1295.
- ZIMMERMANN J-B. (2008), « Le territoire dans l'analyse économique. Proximité géographique et proximité organisée », *Revue française de gestion*, n°184, pp.105-118.
- ZHOU Z-H. (2003), « Industry convergence : historical symbol of industry innovation - analysis on case of convergence of telecom, broadcasting and publishing », *Industry Economy, Research*, n°1, pp.27-42.

- ZUSCOVITCH E. (1985), « La dynamique du développement des technologies. Eléments d'un cadre conceptuel », *Revue Economique*, n°5, pp.897-915.

Annexes

Annexe 1 : Technologies de batteries actuelles éligibles à la propulsion électrique :

□ Accumulateur Plomb-Acide : La plus ancienne technologie de batterie est fondée sur le couple Plomb-Acide. Mise au point dès 1859 par Gaston Planté, son principe originel basé sur une électrolyse plongée dans un récipient d'eau acidulée est optimisé et fiabilisé en 1881 par Camille Alphonse Faure. Rendue plus sûre, la batterie Plomb-Acide s'ouvre la voie d'une production industrielle. Elles intègrent les premières voitures électriques et ne tardent pas à équiper les voitures thermiques jusqu'à nos jours. Notons que cette technologie se dénote par son caractère polluant, bien que son recyclage soit désormais maîtrisé et réglementé, ainsi que par une durée de vie courte et particulièrement sensible aux décharges profondes.

□ Accumulateur Nickel-Cadmium (Ni-Cd) : Il est l'œuvre de Waldemar Jünger en 1899, et son principe de fonctionnement est similaire à celui des batteries Nickel-Fer de Thomas Edison, qui lui sont contemporaines (1901). Une fois mises au point, à l'orée des années 1910, ces batteries équiperont nombre de véhicules électriques, jusqu'aux modèles électriques français du milieu des années 1990. Simples, endurantes et capables de supporter un nombre de cycles charge/décharge très important, ces accumulateurs acquièrent leurs lettres de noblesse sur le tard avec l'essor des appareils portatifs (baladeurs, etc.). Leur développement est néanmoins contraint par leur caractère polluant et par un « effet mémoire », c'est à dire une restitution de l'énergie stockée dépendante de l'état de décharge au moment de la recharge. Cette singularité incitait les propriétaires de véhicules électriques à ne recharger la batterie qu'à partir du moment où sa décharge était complète, sous peine de réduire la capacité de restitution de l'énergie stockée par la batterie à une portion congrue.

□ Accumulateur Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH) ou Nickel-Métal Hybride : Il tend à se substituer à l'accumulateur Nickel-Cadmium dans la majorité de ses applications à partir du

début des années 1990. Peu polluante, dotée d'une énergie massique importante et minimisant l'effet mémoire, elle devient la batterie de prédilection des véhicules hybrides, notamment la plus célèbre d'entre elles, la Toyota Prius qui lui est fidèle depuis 1997. Par ailleurs, malgré des performances en retrait en comparaison des batteries à base de lithium, la batterie Ni-MH supporte de forts courants de charge-décharge et se montre rassurante en cas de surchauffe.

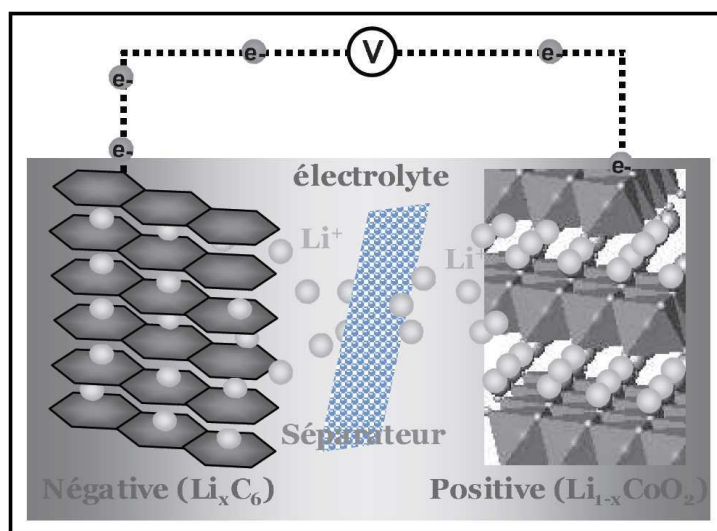
□ Accumulateur Nickel-Zinc (Ni-Zn) : Son industrialisation a longtemps buté sur sa faible durée de vie en cyclage, jusqu'à ce que le problème soit techniquement résolu, dans le cours des années 2000. Désormais, cette technologie enregistre des performances attractives, une grande fiabilité couplée à un recyclage aisé et peu coûteux, de même qu'un coût de revient flatteur validant un potentiel usage pour la traction électrique. Pourtant, fruit d'une mise au point tardive, cette technologie est pénalisée par l'état d'avancement de la recherche et l'industrialisation à grande échelle des technologies Ni-MH et Li-Ion.

□ Accumulateur ZEBRA : Il couple sodium et chlorure de nickel (Na/NiCl_2), et doit son nom à l'entreprise Suisse qui est à l'origine de sa conception. Il est dit à technologie « chaude » car les électrodes nécessitent d'être maintenues à l'état liquide par chauffage, la paroi intermédiaire en céramique jouant à la fois le rôle de séparateur et de conducteur ionique (Novélect, 2003). Initialement étudiée dans le cadre d'un consortium européen mené par le constructeur Renault au début des années 2000, et visant à évaluer la faisabilité technique et la pertinence économique de ces accumulateurs, la batterie ZEBRA équipe désormais la citadine Th!nk City et l'utilitaire Citroën Berlingo « powered by Ventury ».

□ Accumulateur Lithium : Les principes de son fonctionnement sont initiés par les chimistes d'Exxon en 1976 et ont souffert d'une mise au point difficile. Sa commercialisation par Sony, qui cherche alors une solution pour alimenter son « walkman », intervient en 1991. Ces accumulateurs constituent les plus prometteurs pour la propulsion électrique, bien que l'emploi du lithium pose de sérieux problèmes de sécurité thermique, mécanique et

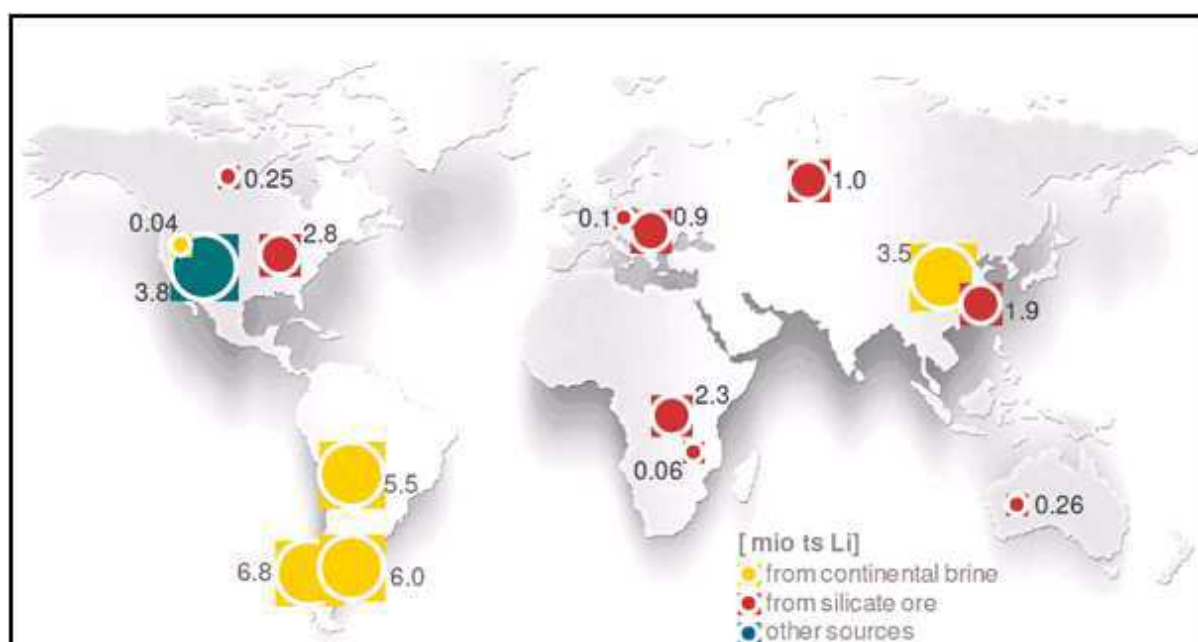
toxicologique tenant à son caractère instable. En cas de comportement anormal de la batterie, la formation de gaz au sein de l'enveloppe de la batterie est susceptible de faire éclater cette dernière, mettant brutalement au contact de l'air les composés qui aussitôt s'enflamment, certains d'entre eux pouvant s'avérer toxiques (CIRENE, 2000).

Annexe 2 : Schéma représentatif du fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion



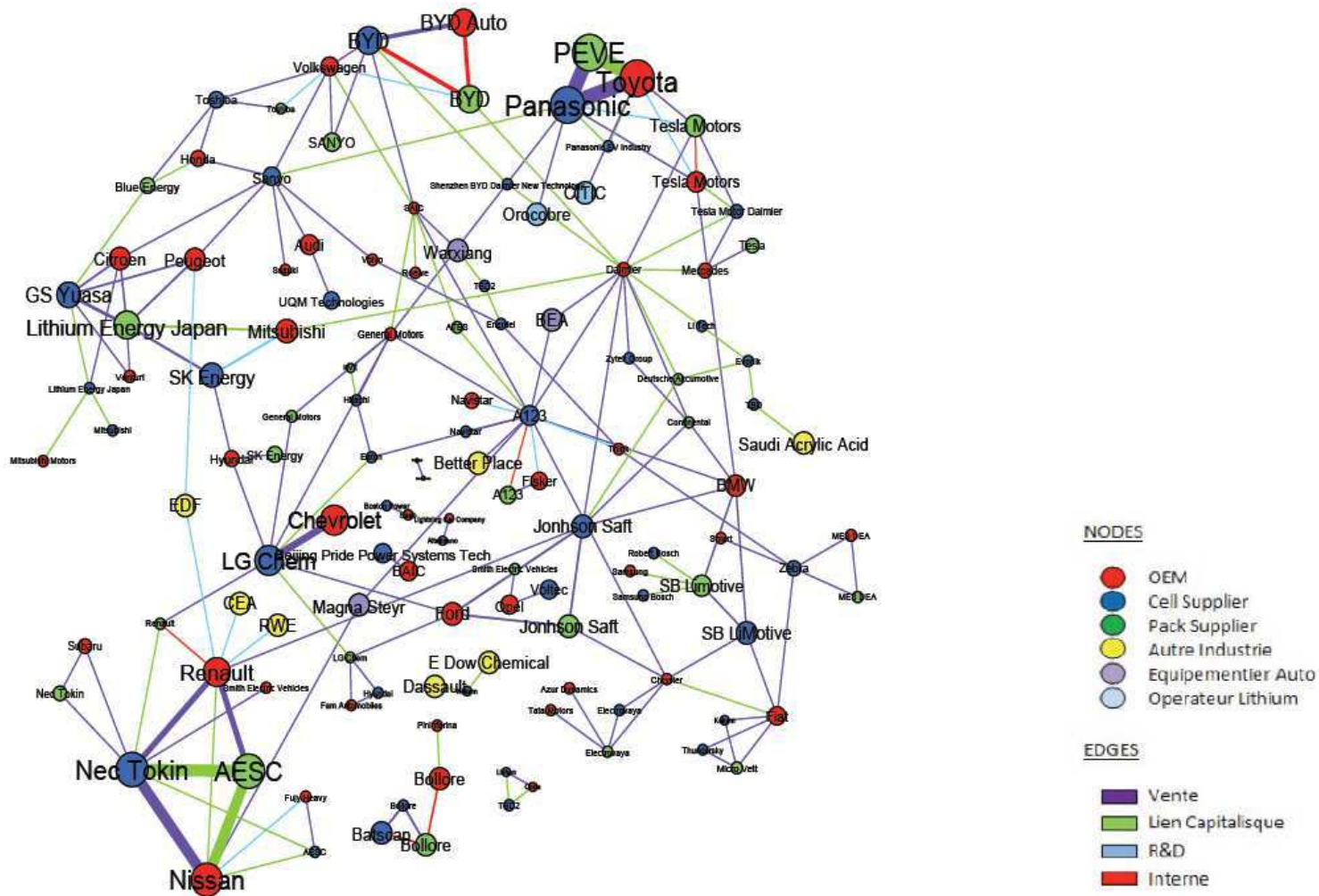
Source : Aboulaich (2007), p.18

Annexe 3 : Distribution géographique des réserves mondiales connues en Lithium :



Sources : Roskill (2009) ; Garrett (2004)

Annexe 4 : Structuration de la filière des batteries Lithium-Ion pour AE en 04/2011 :



Source : MISTE (2011)

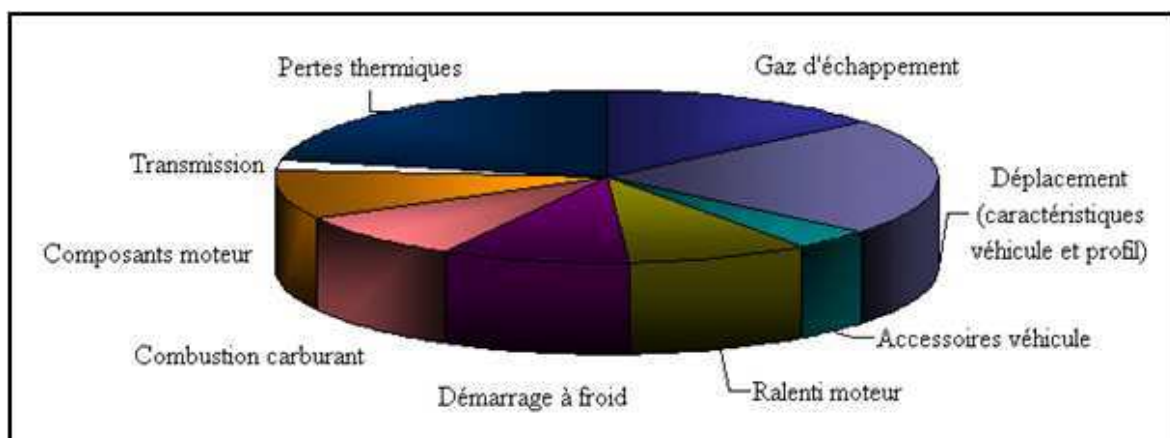
Annexe 5 : Les technologies de motorisations électriques pour AE :

□ Moteur synchrone à aimant permanent : Techniquement, c'est le champ magnétique du stator – dont la fréquence est ajustable – qui tourne dans cette configuration. En conséquence, ce moteur autorise un excellent rendement et une puissance élevée, tandis que sa simplicité de construction le rend très fiable.

□ Moteur synchrone à rotor bobiné : Utilisant un rotor composé d'électro-aimants et, par conséquent, dépourvu de champ magnétique intrinsèque au niveau de son rotor, ce moteur réclame un niveau de courant plus élevé que le moteur à aimant permanent (à bas régimes) et fait ainsi montre d'un rendement moins élevé et d'un encombrement légèrement supérieur.

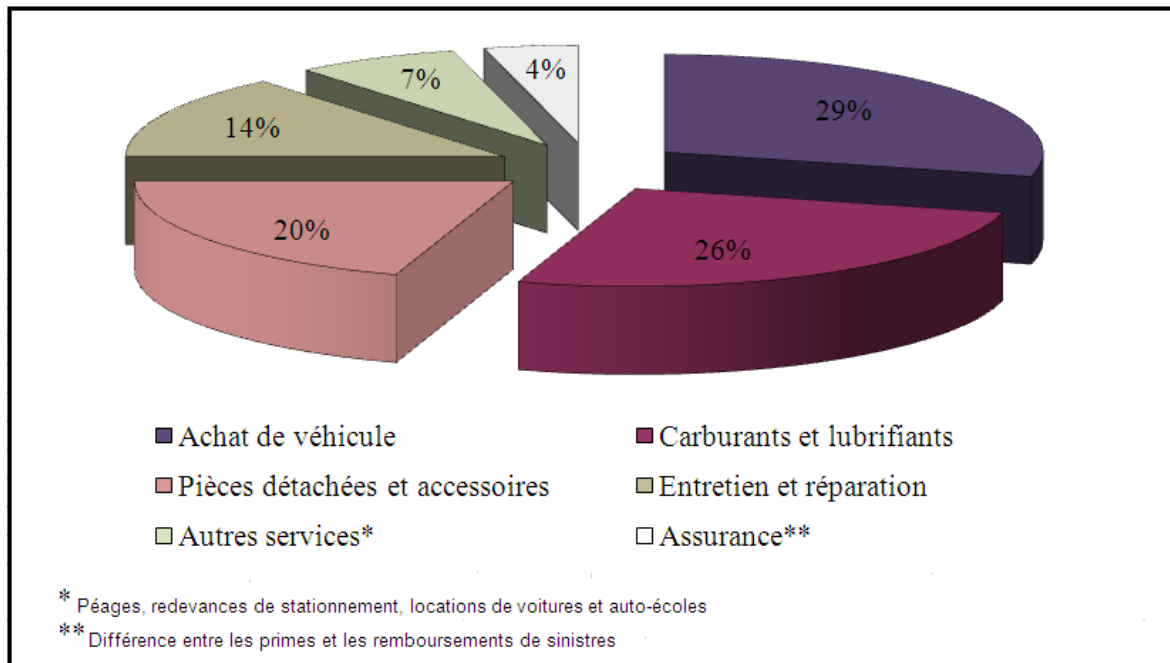
□ Moteur asynchrone : La singularité de ce moteur repose sur le fait que son rotor n'est constitué ni d'aimants, ni d'électro-aimants, mais d'une « cage d'écureuil » dans laquelle ce sont les courants électriques induits sous l'effet du champ magnétique tournant du stator (courant de Foucault) qui provoquent la magnétisation du rotor, et donc sa rotation. Le terme asynchrone est lié au fait que le champ tourne ici plus vite que le rotor.

Annexe 6 : Besoins énergétiques d'une voiture thermique en déplacement :



Source : Laguitton (2010)

Annexe 7 : Dépense de consommation des ménages en transports individuels en France en 2007 :



Source : INSEE (2009)

Annexe 8 : Renault Fluence dCi et Z.E :



Annexe 9 : Tableau récapitulatif des abréviations et de leurs significations :

Abréviation	Unité de mesure	Signification
VE, VD, Ve		Véhicule électrique / diesel / à essence
A_{VE}	Kilomètre	Autonomie du véhicule électrique
Cat	Pourcentage	Coefficient d'assistance technique
$CE_{k_{VT}}$	Euro (€)	Coût d'entretien kilométrique véhicule thermique
CE	Euro (€)	Coût d'entretien
Ck_e	Euro (€)	Coût kilométrique en électricité
Ck_{es}	Euro (€)	Coût kilométrique en essence
Ck_g	Euro (€)	Coût kilométrique en gasoil
Ck_{hee}	Euro (€)	Coût kilométrique hors énergie et hors entretien
$Ck_{ON}R_{Dkm}$	Euro (€)	Coût de revient kilométrique du scénario « Or noir »
$Ck_{scena}R_{Dkm}$	Euro (€)	Coût de revient kilométrique scénarisé
CkT_{Dkm}	Euro (€)	Coût total de détention kilométrique par distance
Ck_u	Euro (€)	Coût d'usage kilométrique
Ck_VR_{Dkm}	Euro (€)	Coût de revient kilométrique du scénario « vert »
C_{max}	Pourcentage	Coefficient de majoration
CM_e	Euro (€)	Coût moyen de l'électricité
C_{min}	Pourcentage	Coefficient de minoration
CM_g	Euro (€)	Coût moyen du gasoil
CM_{kWh}	Euro (€)	Coût moyen du kilowattheure d'électricité
$CMsB$	Kilowattheure	Capacité moyenne de stockage des batteries
CoM_{vd}	l/100km	Consommation moyenne du véhicule diesel
CsB	Kilowattheure	Capacité de stockage de la batterie
Ct	Pourcentage	Coefficient de transfert (réadressage) des batteries
DcC	Heure	Durée du cycle de charge
$DCsB$	Pourcentage	Dégradation capacité de stockage de la batterie
D_{km}	Kilomètre	Distance totale
FaI	Euro (€)	Forfait d'accès à l'infrastructure
FlB	Euro (€)	Forfait de location de batterie
Mp	Pourcentage	Marge du producteur
NbA	Année	Nombre d'années
PA_{dfc}	Euro (€)	Prix d'achat déduction fiscale comprise
PA_{dvr}	Euro (€)	Prix d'achat défalqué de la valeur de revente du VE
PM_eAss	Euro (€)	Prix moyen de l'électricité pour les services système
PM_eG	Euro (€)	Prix moyen de l'électricité sur le marché de gros

Abréviation	Unité de mesure	Signification
RnSB	Euro (€)	Revenus nets tirés du stockage par batteries de VE
RP	Pourcentage	Proportion de recharges payantes
S _{km}	Euro (€)	Surcoût kilométrique
T _A	Pourcentage	Taux d'actualisation
TcA _e	Pourcentage	Taux de croissance annuel du prix de l'électricité
TcA _g	Pourcentage	Taux de croissance annuel du prix du gasoil
TdQ	Pourcentage	Taux de disponibilité quotidienne
VrB _A	Euro (€)	Valeur de revente actualisée des batteries
VrVE _A	Euro (€)	Valeur de revente actualisée du VE
VrVD _A	Euro (€)	Valeur de revente actualisée du véhicule diesel
VrVD	Euro (€)	Valeur de revente en occasion du véhicule diesel

Annexe 10 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 30.000 km :

- Coût kilométrique total amorti sur 30.000 kilomètres d'une AE sans opérateur (en cts/km) :

$$\mathbf{CkT_{30K} (VE_{so}) = [PA_{dfc} (VE_{so})]/30.000 + Ck_e (VE_{so}) + 0,6 [C_e (VD)] = 111 + 1,36 + 6,07 = 118,43.}$$

- Coût kilométrique total amorti sur 30.000 kilomètres d'un VE Renault (en cts/km) :

$$\mathbf{CkT_{30K} (VE_R) = [PA_{dfc} (VE_R) + 106*24]/30.000 + Ck_e (VE_R) + 0,6 [C_e (VD)] = 74,81 + 1,36 + 6,07 = 82,24.}$$

- Coût kilométrique total amorti sur 30.000 kilomètres d'un VE avec opérateur (en cts/km) :

$$\mathbf{CkT_{30K} (VE_{BP}) = [PA_{dfc} (VE_{BP}) + 325*12]/30.000 + Ck_e (VE_{BP}) + 0,75 [C_e (VE_{so})] = 100,02.}$$

- Coût kilométrique total amorti sur 30.000 kilomètres d'une Renault fluence dCi (en cts/km) :

$$\mathbf{CkT_{30K} (VD) = PA_{dfc} (VD)/30.000 + Ck_g (VD) + 10,12 = 82,73 + 6,05 + 10,12 = 98,90.}$$

Annexe 11 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 105.000 km :

- Coût kilométrique total amorti sur 105.000 kilomètres d'une AE sans opérateur (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{105\text{K}}(\text{VE}_{\text{so}}) = [\text{PA}_{\text{rbc}}(\text{VE}_{\text{so}})]/105.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{so}}) + 6,07*(1,05^{2,5}) = 31,71 + 1,36 + 6,85 = 39,92.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 105.000 kilomètres d'un VE Renault (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{105\text{K}}(\text{VE}_{\text{R}}) = [\text{PA}_{\text{dfc}}(\text{VE}_{\text{R}}) + 128*48 + 5.000*0,05]/105.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{R}}) + 6,07*(1,05^{2,5}) = 33,25.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 105.000 kilomètres d'un VE avec opérateur (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{105\text{K}}(\text{VE}_{\text{BP}}) = [31.575 + 325*12]/105.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{BP}}) + 4,55*(1,05^{2,5}) = 33,78 + 0,34 + 5,14 = 39,26.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 105.000 kilomètres d'une Renault fluence dCi (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{105\text{K}}(\text{VD}) = \text{PA}(\text{VD})/105.000 + \text{Ck}_g(\text{VD}) + 10,12*(1,15^{2,5}) = 23,64 + 6,05 + 14,35 = 44,49.$$

Annexe 12 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 150.000 km :

- Coût kilométrique total amorti sur 150.000 kilomètres d'une AE sans opérateur (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{150\text{K}}(\text{VE}_{\text{so}}) = \text{PA}_{\text{dfc}}(\text{VE}_{\text{so}})/150.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{so}}) + 6,07*(1,05^4) = 22,20 + 1,36 + 7,38 = 30,94.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 150.000 kilomètres d'un VE Renault (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{150\text{K}}(\text{VE}_{\text{R}}) = [\text{PA}_{\text{dfc}}(\text{VE}_{\text{R}}) + 128*72]/150.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{R}}) + 6,07*(1,05^4) = 19,41 + 1,36 + 7,38 = 28,15.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 150.000 kilomètres d'un VE avec opérateur (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{150\text{K}}(\text{VE}_{\text{BP}}) = (31.575 + 325*30)/150.000 + \text{Ck}_e(\text{VE}_{\text{BP}}) + 4,55*(1,05^4) = 27,55 + 0,34 + 5,53 = 33,42.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 150.000 kilomètres d'une Renault fluence dCi (en cts/km) :

$$\text{CkT}_{150\text{K}}(\text{VD}) = \text{PA}(\text{VD})/150.000 + \text{Ck}_g(\text{VD}) + 10,12*(1,15^4) = 16,55 + 6,05 + 17,70 = 40,30.$$

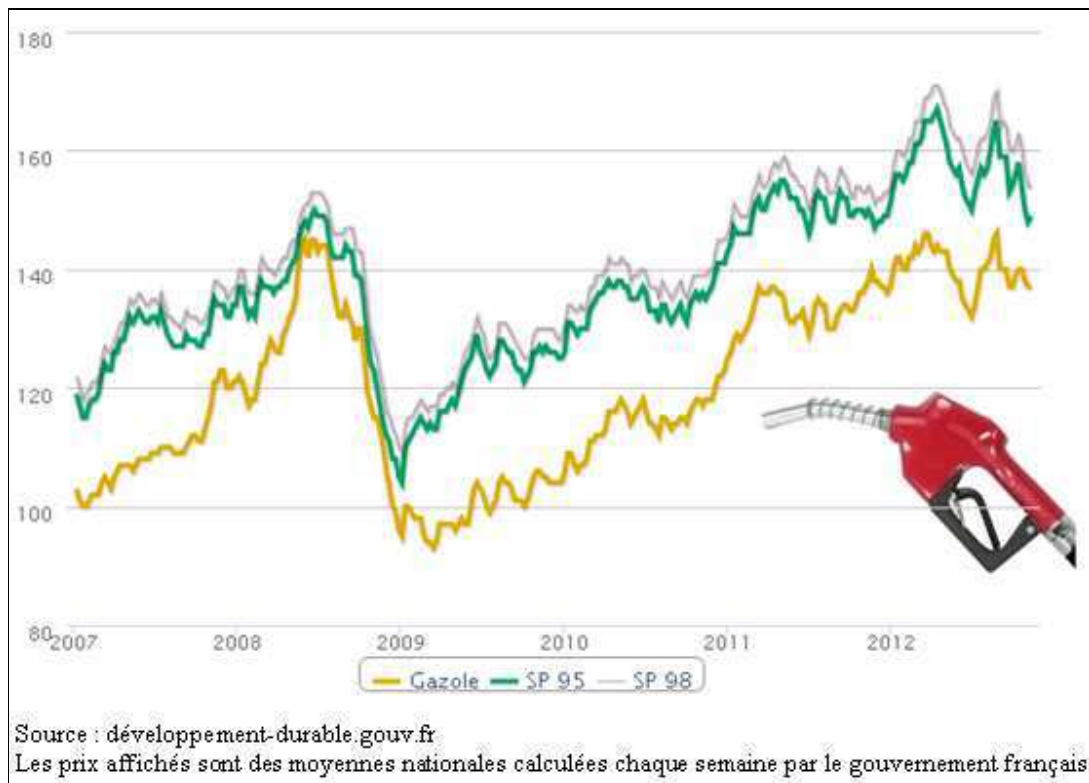
Annexe 13 : Tableau d’amortissement du coût de revient kilométrique relatif de l’AE :

	Coût kilométrique (en centimes d’euros)			
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	VE Better Place	Diesel (Renault Fluence)
30.000	118,43	82,24	100,02	98,90
60.000	63,23	47,25	59,19	59,06
90.000	45,05	36,11	43,78	47,01
120.000	36,14	30,92	36,80	42,11
150.000	30,94	28,15	33,42	40,30
180.000	27,61	26,11	31,27	40,19
210.000	25,29	24,78	29,83	41,28

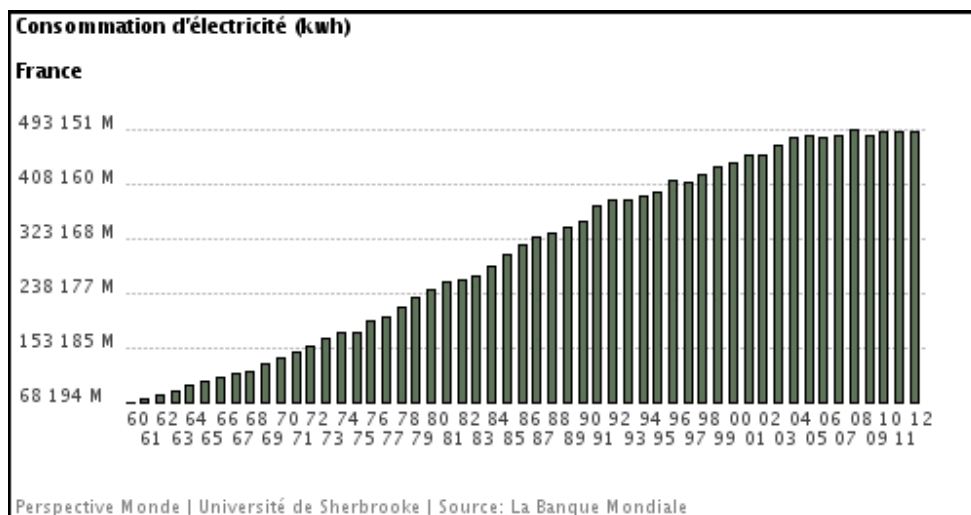
Annexe 14 : Tableau de données du coût de revient relatif de l’AE par rapport au diesel :

Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	VE Better Place
30.000	+19,75%	-16,84%	-1,13%
60.000	+7,06%	-20%	0,22%
90.000	-4,17%	-23,19%	-6,87%
120.000	-14,18%	-26,57%	-12,61%
150.000	-23,22%	-30,15%	-17,07%
180.000	-31,3%	-35,03%	-22,19%
210.000	-38,73%	-39,97%	-27,74%

Annexe 15 : Evolution des prix des carburants et de l'électricité en France – 2007-2012 :



Annexe 16 : Consommation d'électricité en kilowattheure en France – 1960-2012 :



Annexe 17 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 90.000 km du scénario « Or noir » :

- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'une AE sans opérateur (en cts/km) :

$$Ck_{0N}T_{90K}(VE_{so}) = [PA_{rbc}(VE_{so})]/90.000 + 1,36*(1,02^6) + 6,07*(1,05^2) = 37 + 1,53 + 6,69 = 45,22.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'un VE Renault (en cts/km) :

$$Ck_{0N}T_{90K}(VE_R) = [PA_{dfc}(VE_R) + 96*72]/90.000 + 1,36*(1,02^6) + 6,07*(1,05^2) = 29,79 + 1,53 + 6,69 = 38,01$$

- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'une Renault fluence dCi (en cts/km) :

$$Ck_{0N}T_{90K}(VD) = PA_{dfc}(VD)/90.000 + 6,05*(1,15^6) + 1,012*(1,15^2) = 27,58 + 13,99 + 13,38 = 54,95.$$

Annexe 18 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 90.000 km du scénario « Vert » :

- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'une AE sans opérateur (en cts/km) :

$$Ck_VT_{90K}(VE_{so}) = PA_{dfc}(VE_{so})/90.000 + [[1,36*(1,04^2)]*(1,07)^2]*(1,04)^2 + 6,07*(1,05^2) = 45,51.$$

- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'un VE Renault (en cts/km) :

$$Ck_VT_{90K}(VE_R) = [PA_{dfc}(VE_R) + 96*72]/90.000 + [[1,36*(1,04^2)]*(1,07)^2]*(1,04)^2 + 6,07*(1,05^2) = 38,30.$$

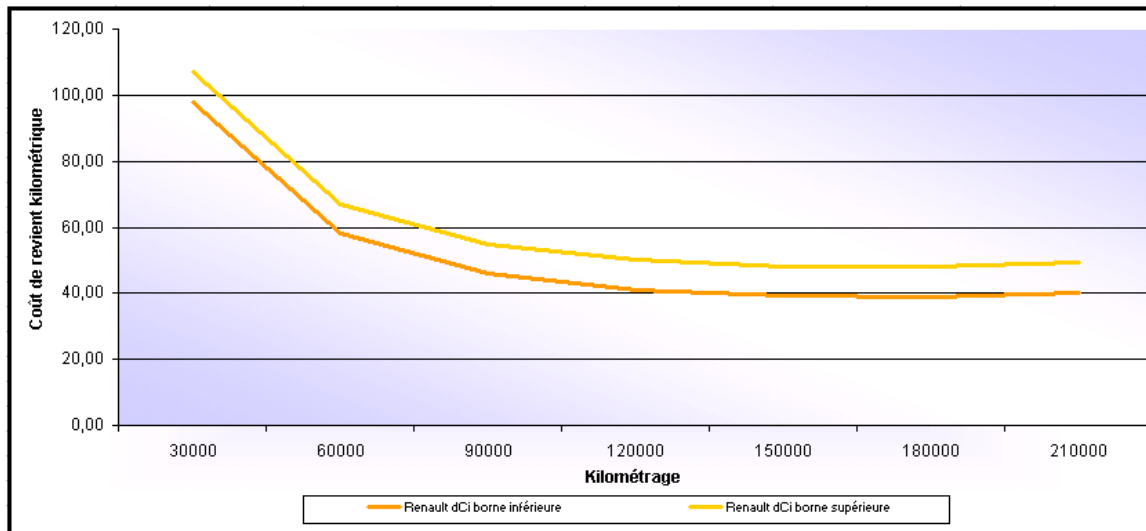
- Coût kilométrique total amorti sur 90.000 kilomètres d'une Renault fluence dCi (en cts/km) :

$$Ck_VT_{90K}(VD) = PA(VD)/90.000 + 6,05*(0,95^4) + 1,012*(1,15^2) = 27,58 + 4,93 + 13,38 = 45,89.$$

Annexe 19 : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE – scénario « Or noir » :

Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault
30.000	+11,01%	
60.000	-5,37%	-24,01%
90.000	-17,71%	-30,83%
120.000	-27,45%	-36,34%
150.000	-35,51%	-41,29%
180.000	-42,28%	
210.000	-48,27%	

Annexe 20 : Evolution du coût de revient du véhicule diesel selon les scénarios fixés :



Annexe 21 : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE, hors bonus – « Or noir » :

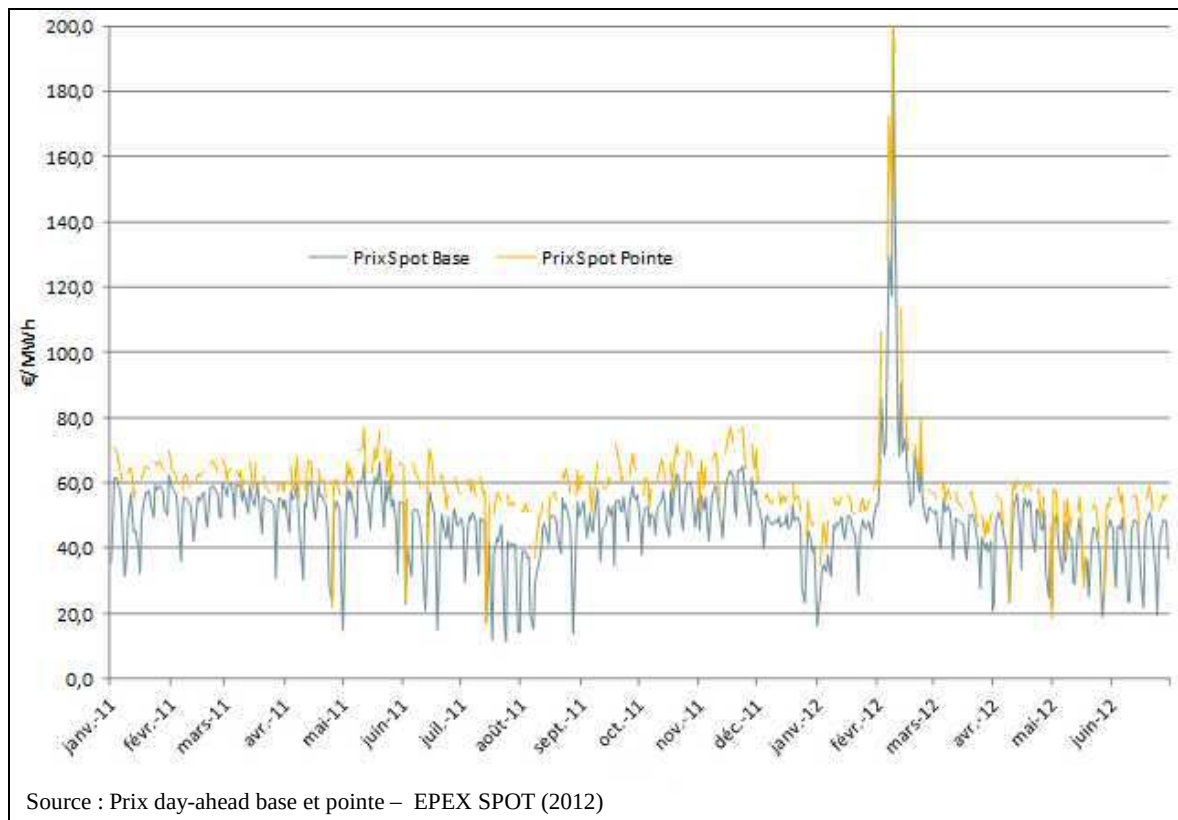
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault
30.000	+32,81%	
60.000	+12,09%	-6,55%
90.000	-3,51%	-16,63%
120.000	-15,76%	-25,17%
150.000	-25,77%	-31,55%
180.000	-34,18%	
210.000	-41,47%	

Annexe 22 : Nissan Leaf - Panier de véhicules :

Versions à essence	Valeur neuve (en 2011) – Bonus/Malus compris	Nombre d’observations
BMW 118i Sport	31.900 €	2
Citroën DS4 THP 200 Sport Chic	29.750 €	16
Opel Astra GTC 1.6 Turbo 180 SP	29.500 €	4
Volvo C30 T5 R-Design Edition	32.750 €	3

Versions diesels	Valeur neuve (en 2011) – Bonus/Malus compris	Nombre d’observations
Audi A3 Sportback 2.0 TDI 170 A	31.280 €	1
BMW 318d Lounge Plus	32.150 €	4
Citroën DS4 2.0 HDI 160 Sport Chic	29.800 €	110
Mercedes A200 CDI BlueEfficiency	31.800 €	3
Peugeot 308 2.0 HDI 163 Féline A	30.350 €	11
Renault Mégane 2.0 dCi 160 GT	30.700 €	50
Volkswagen Golf GTD	32.340 €	27

Annexe 23 : Prix spot de l'électricité en France – 2011-2012 :



Annexe 24 : Coût d'usage kilométrique amorti sur 6 ans et 60.000 kilomètres, par scénarios :

Scénario « Or noir »		Renault Fluence Z.E.	Renault Fluence dCi
Coût kilométrique électricité		1,53cts/km	
Coût kilométrique en Gasoil			13,99cts/km
Scénario « Vert »		Renault Fluence Z.E.	Renault Fluence dCi
Coût kilométrique électricité		1,82cts/km	
Coût kilométrique en Gasoil			4,93cts/km
Tous scénarios	Kilométrages	Renault Fluence Z.E.	Renault Fluence dCi
Coûts d'entretien	30/60/90.000	6,69cts/km	13,38cts/km
	120.000	7,03cts/km	15,39cts/km
	150.000	7,38cts/km	17,70cts/km
	180.000	7,75cts/km	20,35cts/km
	210.000	8,13cts/km	23,48cts/km

Annexe 25 : Tableau d'amortissement du coût total de détention, par scénarios :

Scénario « Or noir »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (R. Fluence)
30.000	79,46		80,79
60.000	45,82	33,33	55,13
90.000	34,7	27,49	46,68
120.000	29,83	25,38	44,85
150.000	27,15	24,36	44,89
180.000	25,25		45
210.000	23,92		47,95

Scénario « Vert »	Coût kilométrique (en centimes d'euros)		
Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault	Diesel (R. Fluence)
30.000	86,57		71,73
60.000	48,98	36,49	46,07
90.000	34,99	27,78	37,62
120.000	30,97	26,52	35,79
150.000	27,78	24,99	35,83
180.000	25,78		35,94
210.000	24,21		38,89

Annexe 26 : Tableau de données au coût total de détention relatif de l'AE, par scénarios :

Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault
30.000	-1,64%	
60.000	-16,89%	-39,54%
90.000	-25,66%	-41,11%
120.000	-33,49%	-43,41%
150.000	-39,52%	-45,73%
180.000	-43,89%	
210.000	-50,11%	

Kilométrage	VE sans opérateur	VE Renault
30.000	+20,69%	
60.000	+6,32%	-20,79%
90.000	-6,99%	-26,16%
120.000	-13,47%	-25,9%
150.000	-22,47%	-30,25%
180.000	-28,27%	
210.000	-37,75%	

Annexe 27 : Valeur de revente d'une AE « avec opérateur » à 6 ans pour atteindre un seuil de rentabilité nul par rapport aux autres modalités de vente, par scénarios :

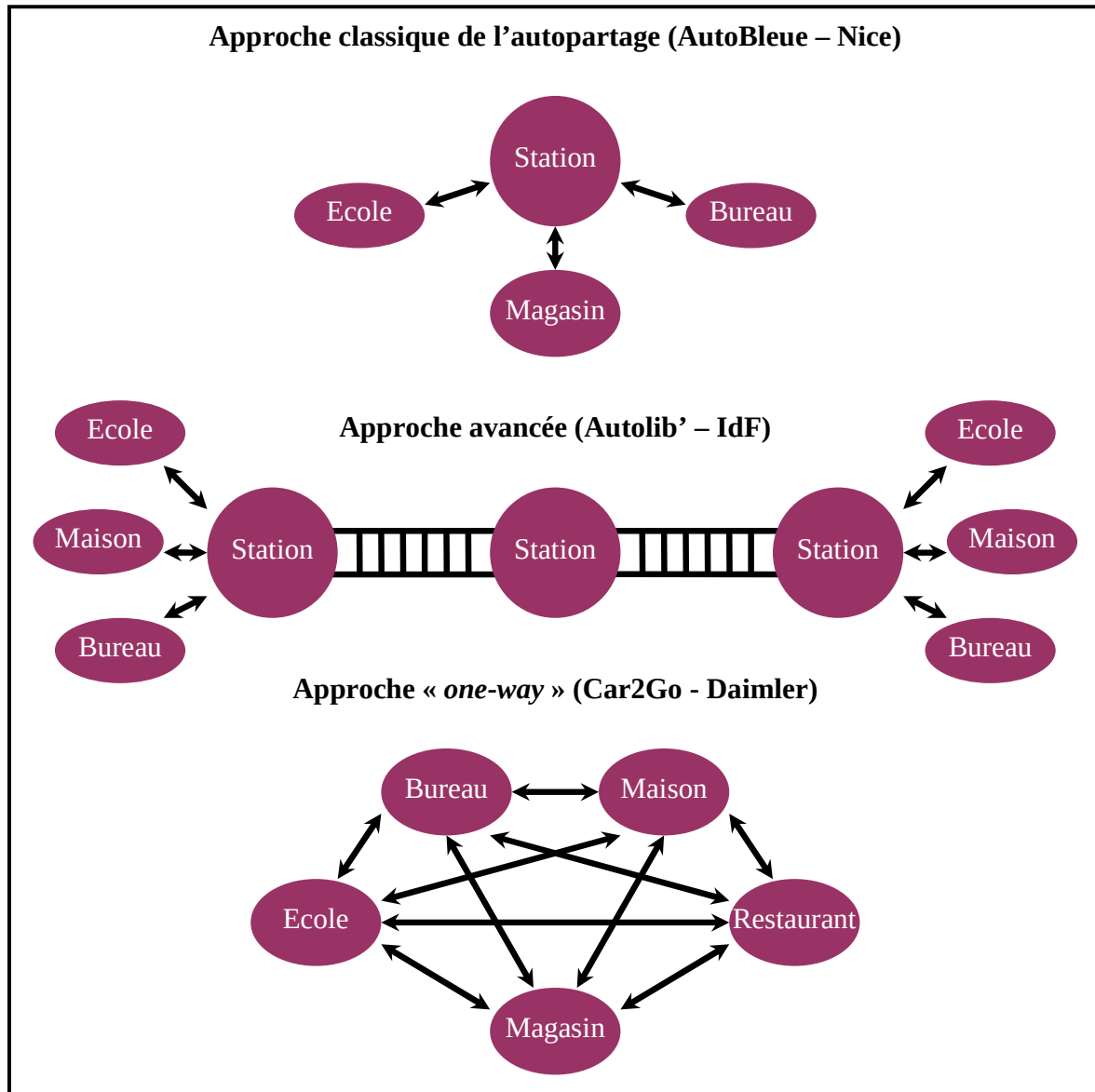
Kilométrage	Scénario « Or noir »		Scénario « Vert »	
	VE _{SO}	VD	VE _{SO}	VD
60.000	3.230 €	0 €	3.230 €	2.420 €
90.000	2.981 €	0 €	2.981 €	0 €
120.000	2.434 €	0 €	2.434 €	0 €
150.000	1.750 €	0 €	1.750 €	0 €

Annexe 28 : Eléments de définition comparée de l'économie de la fonctionnalité :

Critères de définition	Economie industrielle	Economie de la fonctionnalité
Nature de la production	Production de masse de produits standardisés	Production différenciée de biens personnalisés liés à l'offre d'un service
Nature de la consommation	Consommation de masse de produits industriels standardisés	Consommation de masse de produits industriels et serviciels personnalisés intégrés
Rôle du consommateur dans la définition du produit	Nul	Rôle de plus en plus important dans la définition du produit (co-production)
Accès à la consommation	Par l'achat de la propriété de biens	Par la location et les enjeux d'usage (voie servicielle)
Modalités d'organisation de l'entreprise	Entreprise intégrée (grandes unités de production)	Entreprise réseau/architecte (décentralisation géographique de la production)
Nature du produit	Produit industriel standardisé	Système de produits industriels et serviciels personnalisés et intégrés

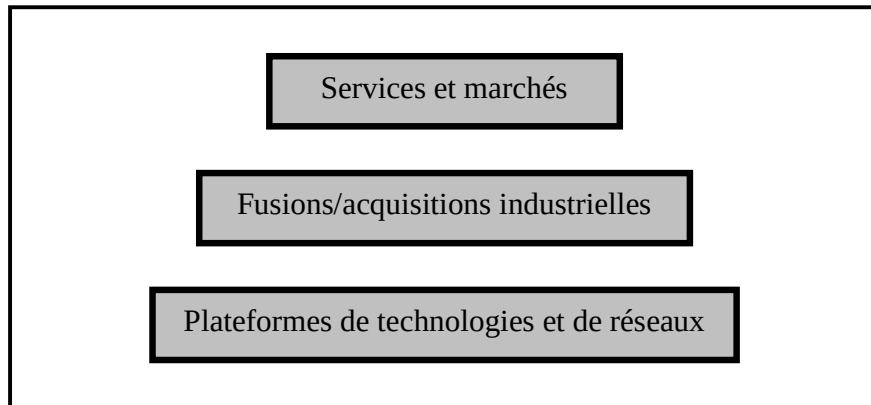
Source : Vaileanu-Paun I. et Boutillier S. (2012), p.34.

Annexe 29 : Autopartage : de l'approche classique à l'approche « *one-way* » :



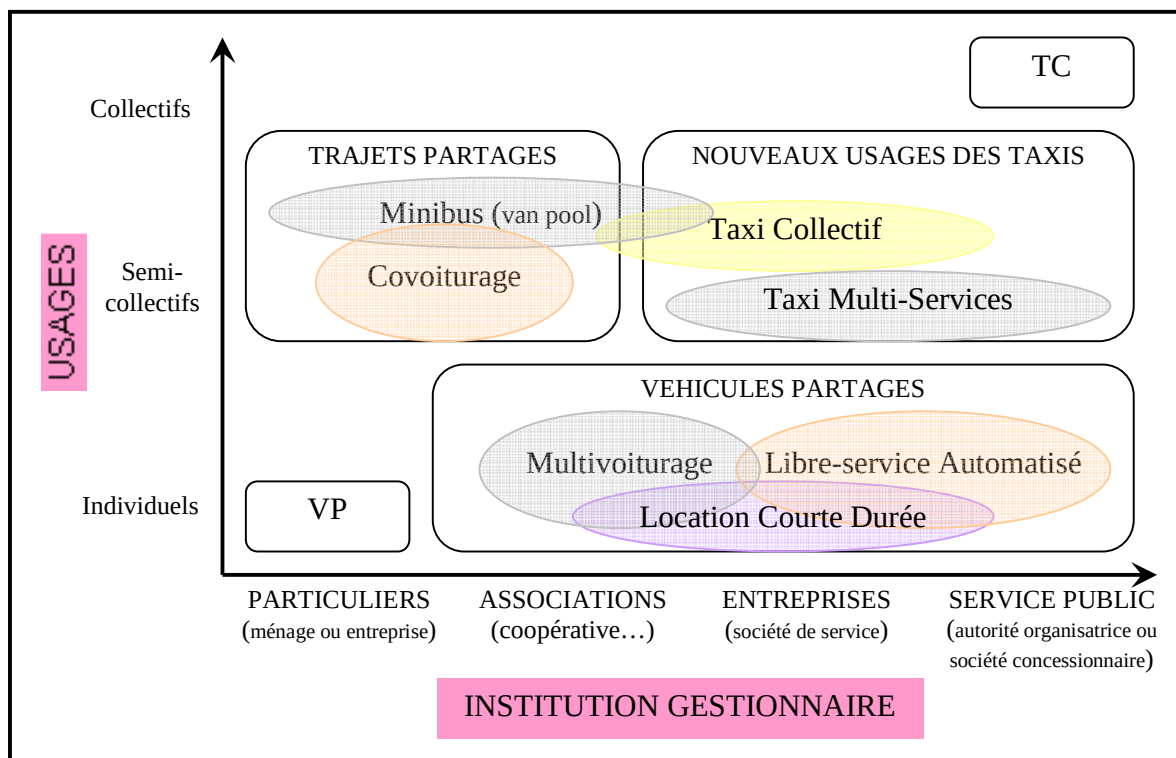
Source : A partir de OVE (2009.b).

Annexe 30 : Les étapes de la convergence industrielle :



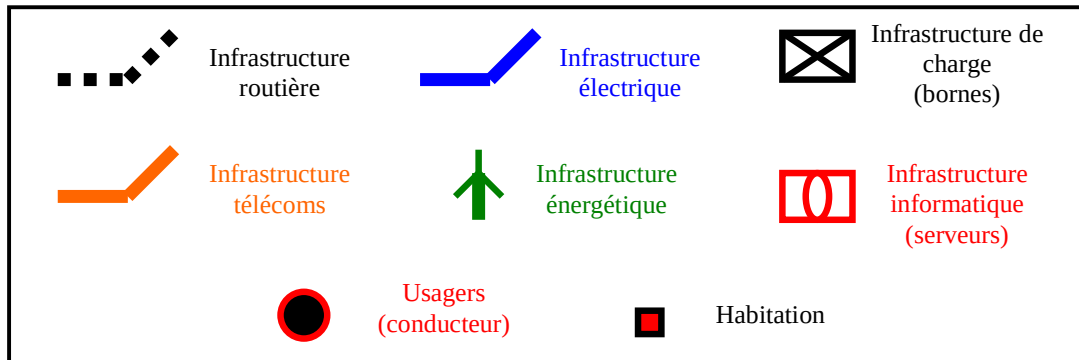
Source : Commission européenne (2007)

Annexe 31 : Modalités de déplacement : un panorama :



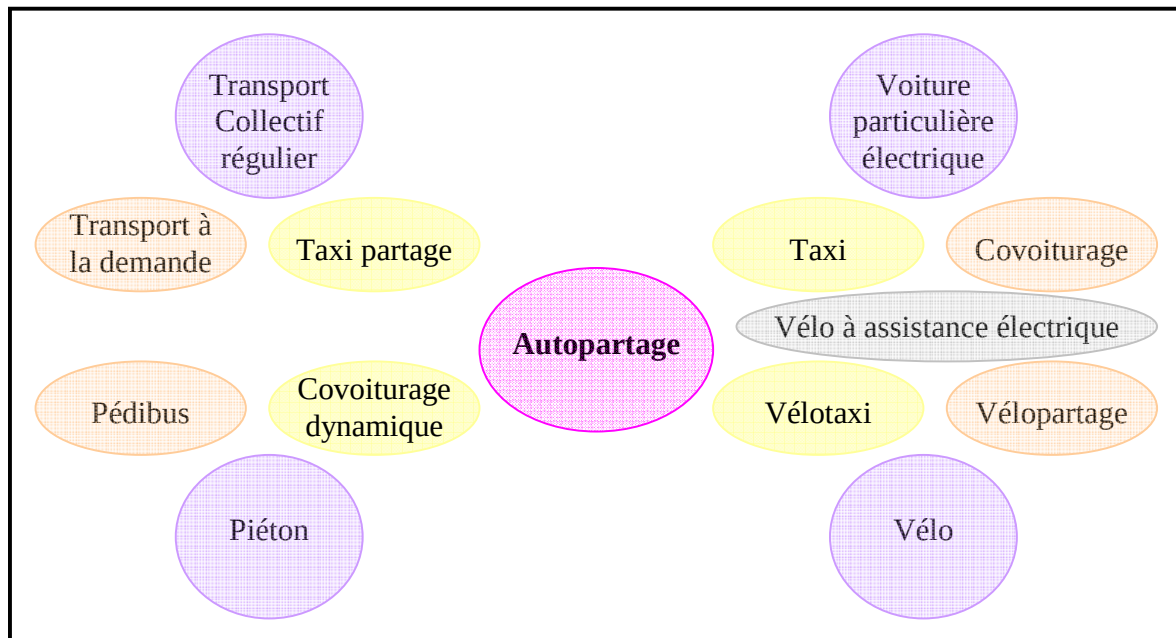
Source : CERTU (2007.a), p.10

Annexe 32 : Liste des infrastructures exploitées par les modèles d'électromobilité :



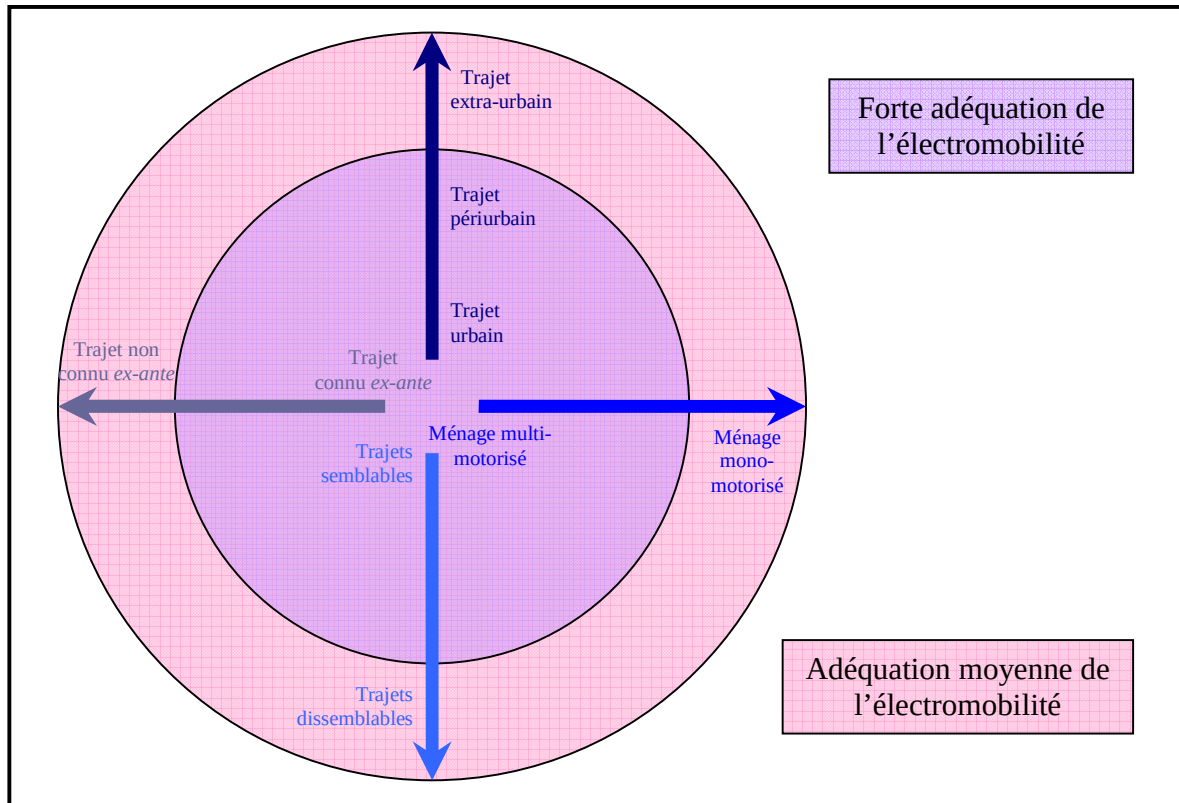
Source : Représentation de l'auteur

Annexe 33 : Solutions « durables » de déplacement : un panorama exhaustif :



Source : CERTU (2007.b), p.7

Annexe 34 : Adéquation de l'électromobilité aux trajets de loisirs : le cas des batteries amovibles :



Source : Représentation de l'auteur

Annexe 35 : Démographie des producteurs d'AE aux États-Unis (1992-2007) :







● > 40 millions \$

● 20-40 millions \$

● 5-20 millions \$

● < 5 millions \$

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- Tesla Motors
- Oka NEV



● > 40 millions \$

● 20-40 millions \$

● 5-20 millions \$

● < 5 millions \$

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- Miles Electric Vehicles
- Myers Motors



● > 40 millions \$

● 20-40 millions \$

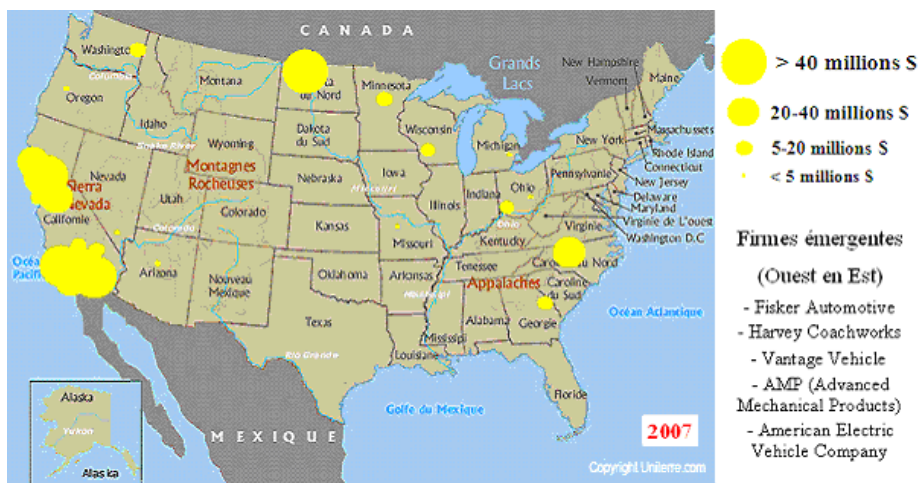
● 5-20 millions \$

● < 5 millions \$

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- Wrightspeed
- Aptera Motors



Source : Bainée et Le Goff (2013), p.318

Annexe 36 : Forme d'émergence des producteurs d'AE aux États-Unis (1992-2007) :





Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

ZAP Electric Vehicles
NEVCO
(Neighborhood Electric Vehicle Company)



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

E-ride Industries



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Li-ion Motors



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

Li-ion Motors
Zone Electric Car



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

(Ford → Phoenix cars)
Columbia ParCar
Lafayette County Car
Tomberlin



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

(AC Propulsion → Tesla)
Oka NEV



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

Miles Electric Vehicles
Myers Motors



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

(Accelerated Composites
-> Aptera Motors)

(Tesla -> Wrightspeed)



Forme d'émergence

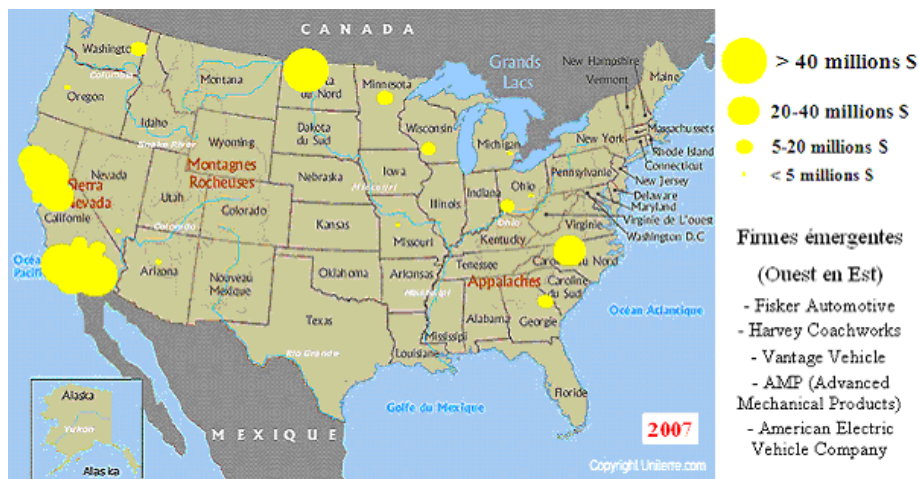
- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

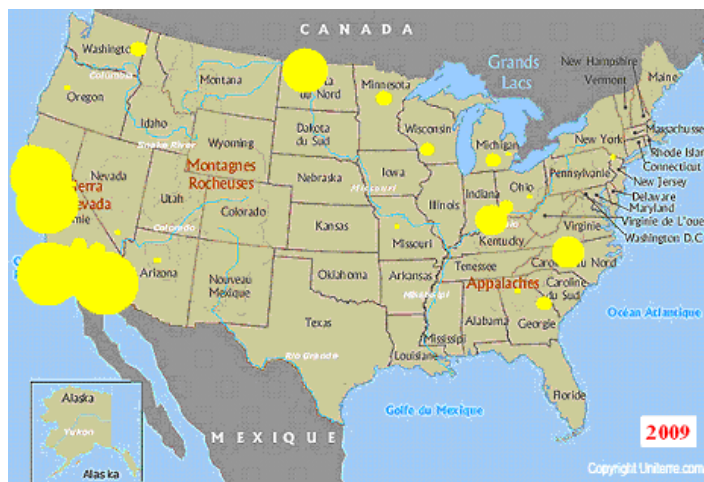
T3 Motion



Source : Bainée et Le Goff (2013), p.319

Annexe 37 : Démographie et forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis (2007-2010) :





>200 millions \$

20-40 millions \$

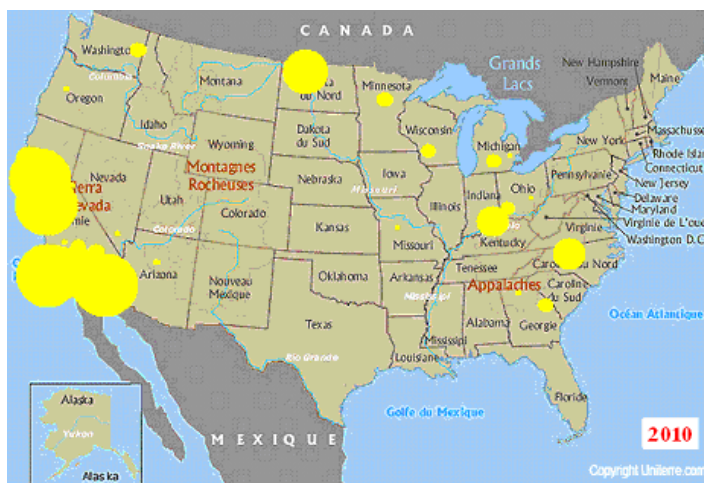
5-20 millions \$

< 5 millions \$

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- Coda Automotive
- Wheego Electric Cars



>200 millions \$

20-40 millions \$

5-20 millions \$

< 5 millions \$

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- Epic Electric Vehicles



Forme d'émergence

○ Spin-off

□ Start-up

△ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

- (Quantum Technologies
→ Fisker)
- Harvey Coachworks
- Vantage Vehicle
- AMP
- American Electric Vehicle Company



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

Persu mobility
Rocky Mountain Institute
-> Bright Automotive
American Electric Vehicle Company
GGT (GreenGoTek)
Be Green



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

Firmes émergentes

(Ouest en Est)

Miles Electric Vehicles
-> Coda Automotive
Ruff and Tuff Electric Vehicles
-> Wheego electric cars



Forme d'émergence

- Spin-off
- Start-up
- △ Diversification

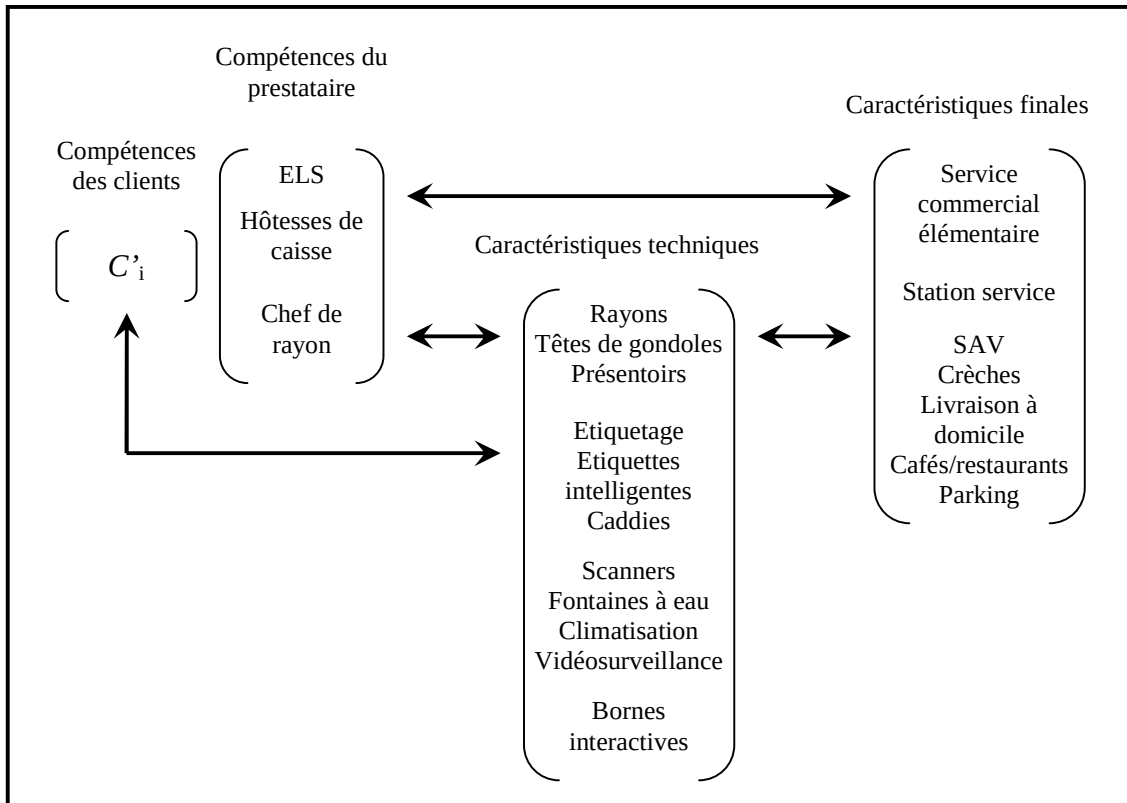
Firmes émergentes

(Ouest en Est)

Flux Power
-> Epic Electric Vehicles

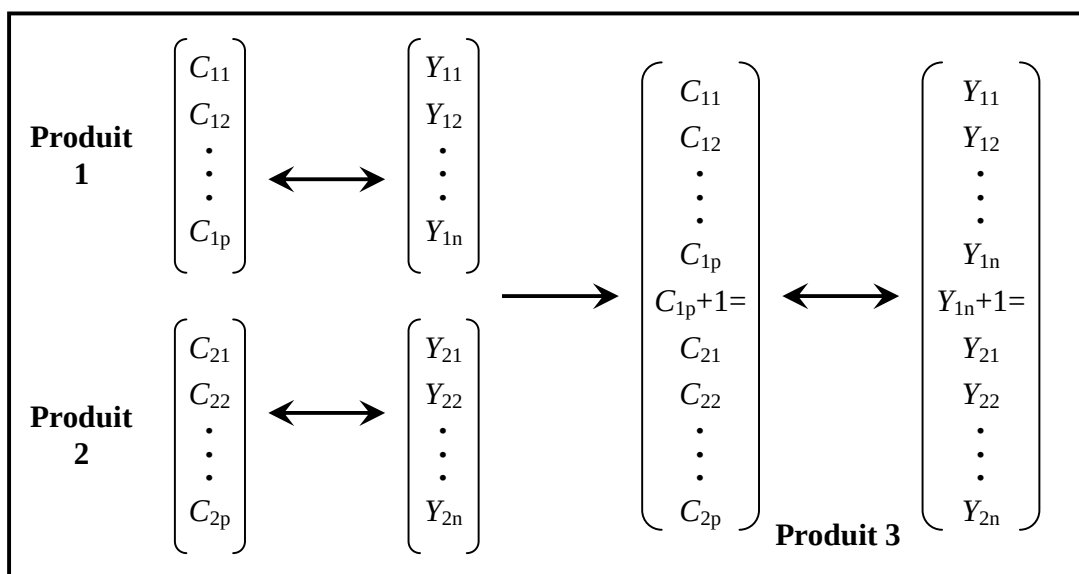
Source : Bainée et Le Goff (2012), p.321

Annexe 38 : Formalisation lancastérienne à la Gallouj et Weinstein (1997) appliquée au cas du commerce de proximité :



Source : Gallouj (2004), p.79

Annexe 39 : Innovations de nature recombinate et caractéristiques finales des produits :



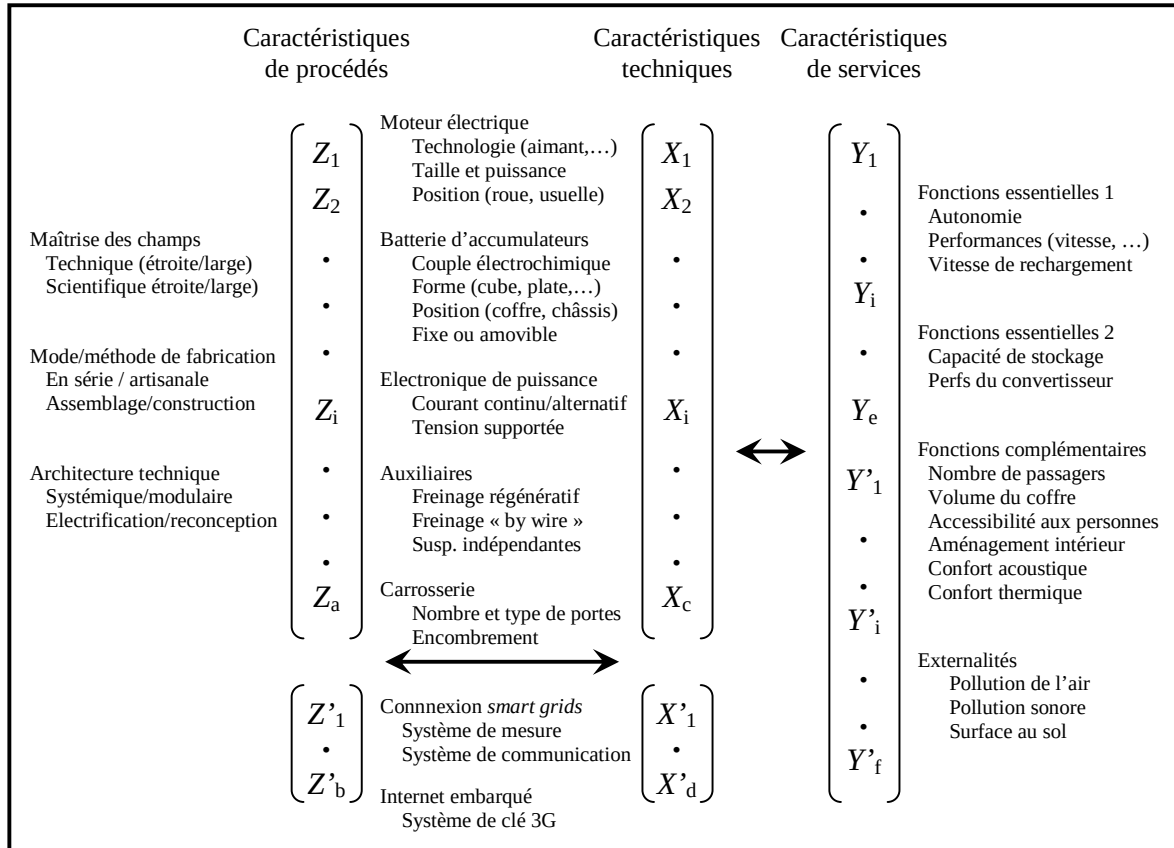
Source : Gallouj et Weinstein (1997), p.551

Annexe 40 : Fisker Karma : un puzzle modulaire et géographique :



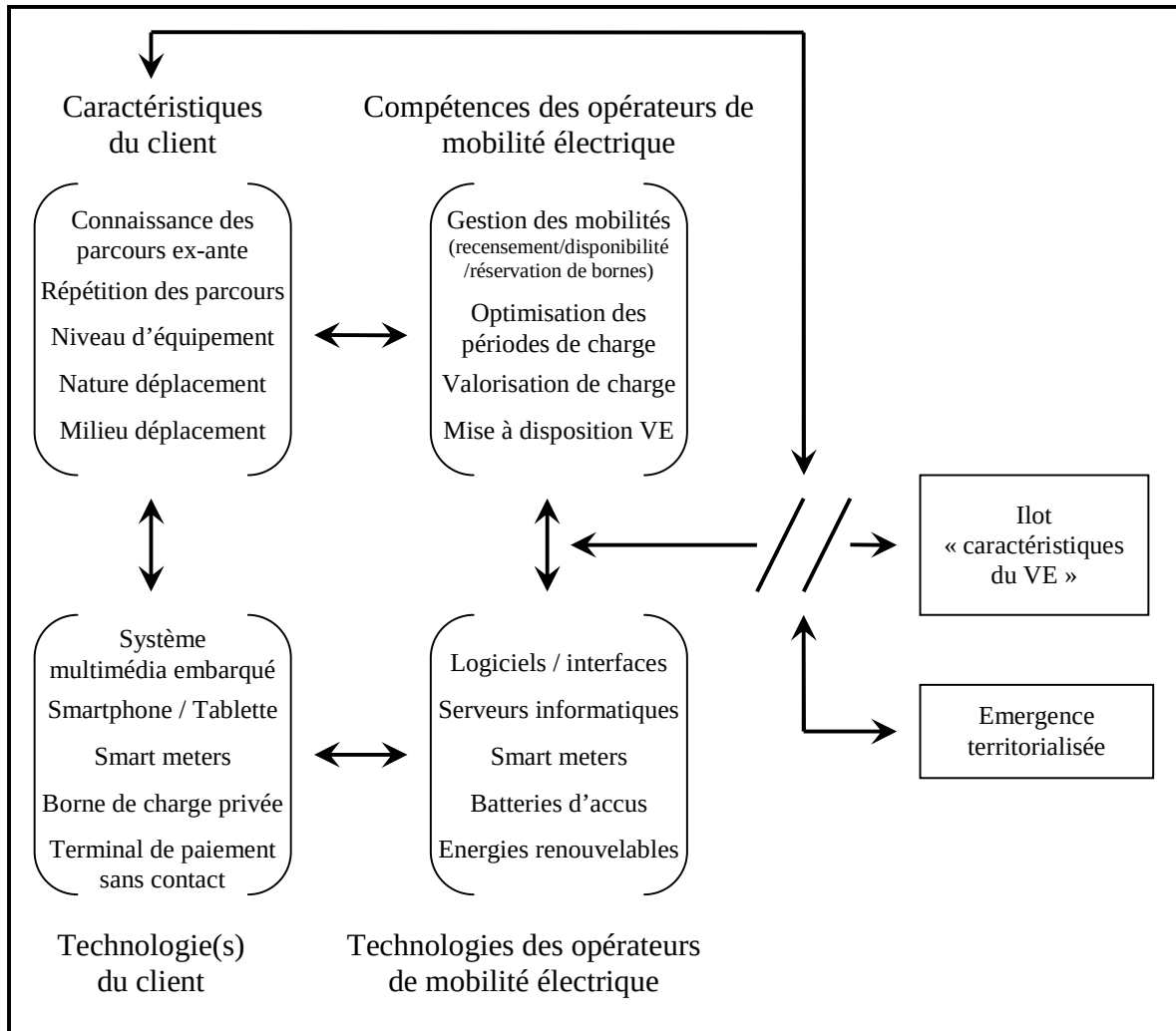
Source : Presse spécialisée

Annexe 41 : L'îlot des « caractéristiques de l'AE » : illustrations et exemples :



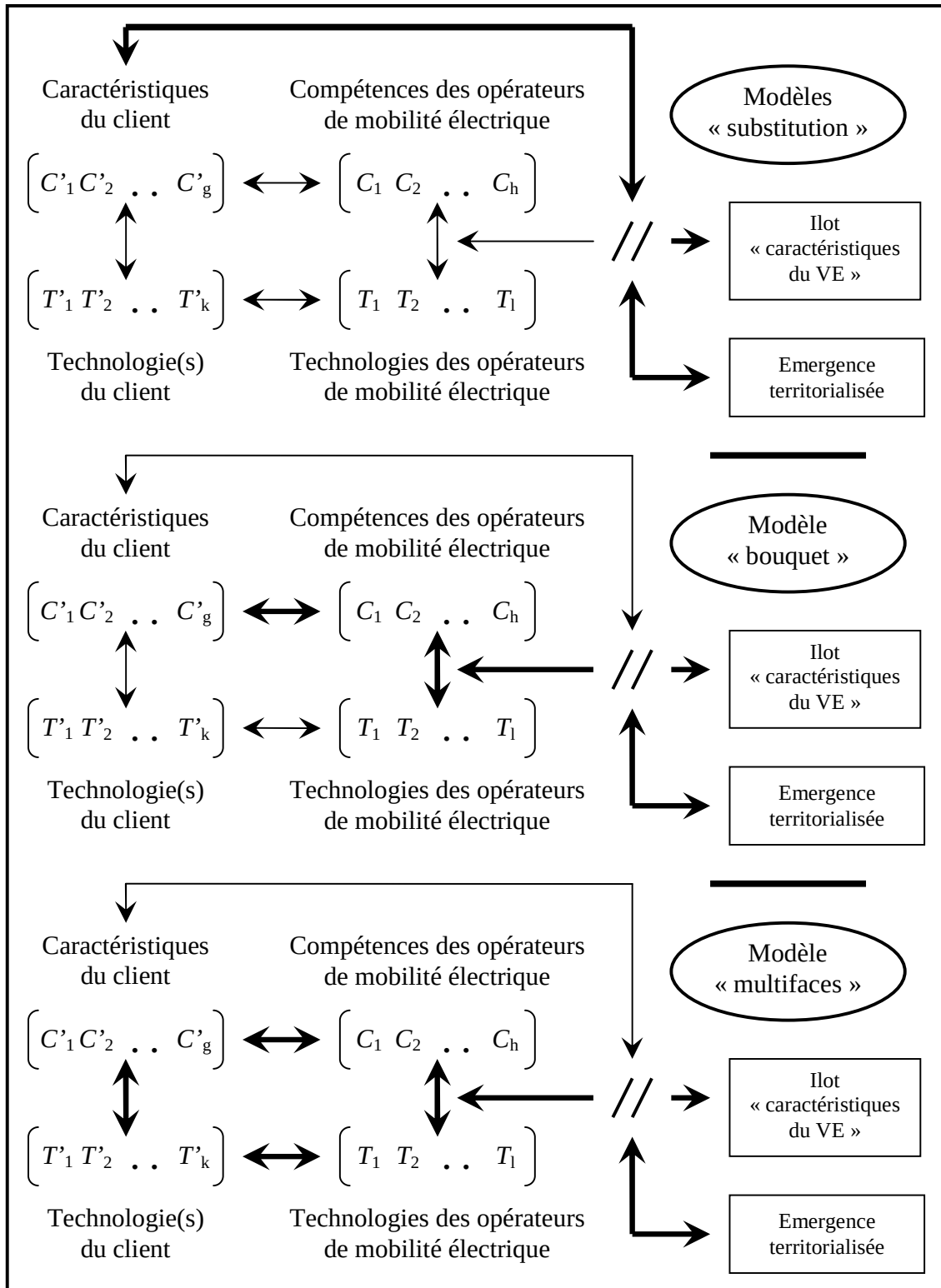
Source : Représentation de l'auteur

Annexe 42 : L’îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : illustrations et exemples :



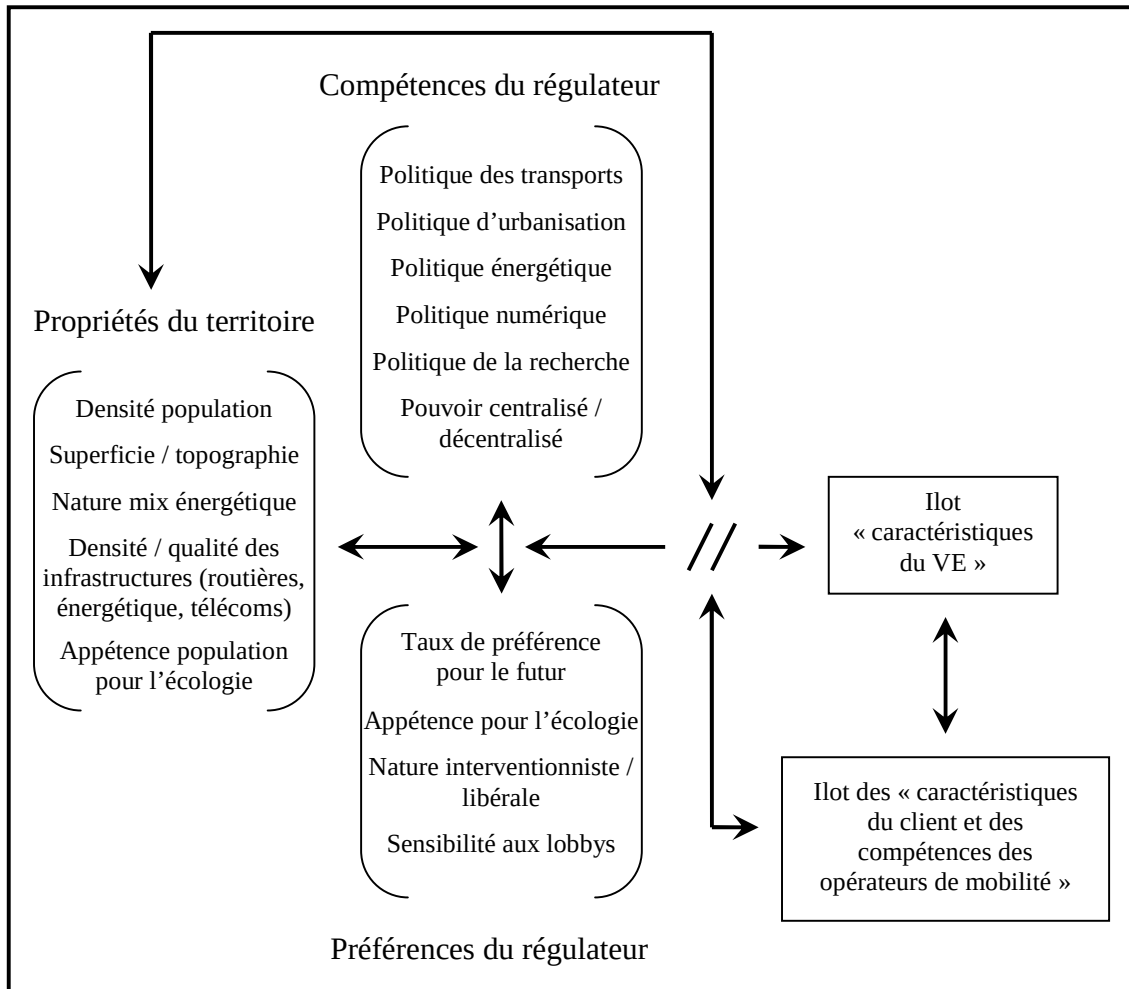
Source : Représentation de l’auteur

Annexe 43 : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : agent révélateur des modèles d'électromobilité :



Source : à partir de Gallouj et Weinstein (1997) et de De Vries (2006)

Annexe 44 : L'îlot des « caractéristiques du territoire » :



Source : à partir de Gallouj et Weinstein (1997) et de Windrum et García-Goñi, 2008

Table des matières

Résumé de la thèse / Abstract	3
Remerciements	5
Sommaire	11
INTRODUCTION GENERALE	15
Partie 1. Approche technico-économique de l'automobile électrique :	
Frontières et définitions ; potentialités et verrous.....	35
Chapitre 1. Analyse technico-économique du cœur technologique de l'automobile	
électrique. Les batteries d'accumulateurs et la motorisation électrique soumises au	
révélateur du concept de « régime technologique »	37
1. Le régime technologique des batteries d'accumulateurs.....	40
1.1. Fonctionnement des technologies de batteries d'accumulateurs avancées	41
1.2. Degrés d'opportunité et de cumulativité des batteries pour l'électromobilité	44
1.3. Degré d'appropriabilité technologique des batteries avancées	49
1.4. Etendue du marché : la demande formulée pour les batteries avancées	52
1.5. Le marché des batteries avancées : la dynamique de l'offre.....	55
1.6. Un corollaire : la dynamique de coût des batteries Lithium-Ion.....	60
2. Le régime technologique de la motorisation électrique	63
2.1. Principes de fonctionnement de la motorisation électrique.....	63

2.2. Efficience technique et efficacité énergétique globale de la chaîne électrique	66
2.3. Moteur électrique : mesure du degré d'appropriabilité technologique	70
2.4. Moteur électrique et mécanismes traditionnels de génération de valeur	73
2.5. Un corollaire : vers un déplacement des coûts de détention automobile	76
Conclusion du Chapitre 1	79
Chapitre 2. Coûts, prix et marchés de l'automobile électrique : Calcul du coût total de possession des modes alternatifs de commercialisation de l'automobile électrique	85
1. Définition et calibrage des facteurs	86
1.1. Sélection des versions et des prix de vente avant retraitement	87
1.2. Calcul des coûts de revient kilométriques	89
1.2.1. Coûts kilométriques hors énergie et hors entretien	90
1.2.2. Coûts kilométriques à l'usage : le cas de l'énergie	92
1.2.3. Coûts kilométriques à l'usage : le cas de l'entretien	94
2. Représentations des modèles d'affaires alternatifs et commentaires	97
2.1. Représentations des coûts de revient alternatifs	97
2.2. Commentaires généraux sur le modèle de base	100
2.3. Eléments de précision sur le modèle de base	102
3. Amendements au modèle de base : précisions et perspective dynamique	104
3.1. Reconsidération du modèle de base : une perspective dynamique	104
3.1.1. Scénarios : hypothèses de travail	106
3.1.2. Scénarios : quelques perfectionnements	109

3.2. Phase calculatoire	113
3.2.1. Calcul du coût de revient relatif de l'AE, en fonction des scénarios	114
3.2.2. Impact de la disparition des aides fiscales à l'achat d'AE	118
4. Reconsidération du modèle de base : Eléments de prospective	119
4.1. Les voies alternatives de commercialisation de l'AE et de sa batterie.....	120
4.1.1. Valorisation ex-post de la capacité de stockage de la batterie	123
4.1.2. Valorisation ex-post des batteries : la problématique du recyclage	126
4.1.3. Valorisation ex-post de l'AE : La question du marché de l'occasion	127
4.2. Valorisation concomitante de la capacité de stockage de la batterie.....	135
4.2.1. Marchés de l'électricité – une introduction	135
4.2.2. Stockage d'électricité par véhicules électrique : vers quels revenus ?	139
4.3. Valorisation de l'AE et de sa batterie - logique d'articulation et estimation du coût total de détention de l'AE.....	144
Conclusion du Chapitre 2	153
Conclusion de la Partie 1	159
Bibliographie de la Partie 1	165
Partie 2. Le bien système « automobile électrique » : une appréhension par le concept de système d'électromobilité.....	179
Chapitre 1. Le « bien-système » : justification et grilles de lecture. Vers la définition de « systèmes d'électromobilité »	185
1. Le concept de « bien système » : justification et grille de lecture.....	185

2. Orientation « produit » et principes régissant la production des bien-systèmes	190
2.1. Approches en termes de « bien complexe » et de <i>Complex Product System</i> . Une caractérisation du bien-système	190
2.2. Complexité et plateformes d'innovation : une analogie aux systèmes d'électromobilité.....	193
2.3. Introduction aux modèles « substitution rigide » et « substitution flexible »	195
3. Orientation « bouquet » et structuration d'une offre de bien-système	197
3.1. L'économie des bouquets et le <i>product bundling</i>	198
3.2. Intermodalité, multimodalité et bouquets de transports	201
3.3. Economie de la fonctionnalité et modèle « autopartage ».....	203
4. Orientation « intersectorielle » : convergence industrielle et propriété combinatoire	207
4.1. L'AE : enveloppe d'une technologie qui infuse le système technique	208
4.2. Emergence d'un système d'électromobilité. Une lecture par le processus de convergence industrielle	211
4.3. Introduction au modèle « multifaces »	215
Conclusion du Chapitre 1	218
Chapitre 2. Quatre modalités génériques d'émergence des systèmes d'électromobilité.....	223
1. Systèmes d'électromobilité associés au modèle « substitution rigide ».....	229
2. Le modèle « substitution flexible »	234
3. Le modèle « autopartage »	239
4. Le modèle « multifaces »	247

Conclusion du Chapitre 2	252
Chapitre 3. Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : modèles d'affaires et rôle sur la diffusion de l'électromobilité	257
1. Opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : genèse et marchés	258
2. Le marché des opérateurs de mobilité électrique : un marché bifaces	265
3. Application de la notion de marché bifaces aux modèles d'affaires des opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges.....	270
3.1. Filiation et adaptation des préconisations de la théorie des marchés à multiples versants aux modèles d'affaires des opérateurs.....	272
3.2. Modèles d'affaires accessibles aux opérateurs de mobilité électrique.....	273
3.2.1. L'opérateur de mobilité propriétaire de la batterie d'accumulateurs.	274
3.2.2. L'opérateur de mobilité gestionnaire de la batterie d'accumulateurs	276
3.2.3. Vers un modèle d'affaires résolument multifaces	279
4. Opérateurs de mobilité électrique et diffusion de l'automobile électrique : les enseignements de l'économie des réseaux	282
4.1. Retour sur les notions de réseau et d'externalité de réseau	282
4.2. Modélisation.....	287
Conclusion du Chapitre 3	290
Conclusion de Partie 2	295
Bibliographie de la Partie 2	303

Partie 3. L'automobile électrique comme bien-système territorialisé 319

Chapitre 1. Une approche institutionnaliste et évolutionnaire du territoire et des dynamiques d'émergence et de diffusion de l'automobile électrique..... 325

1. Territoire et innovation : une revue de la littérature des approches institutionnalistes..... 327

1.1. La grille de lecture institutionnaliste du territoire 327

1.2. Les approches en termes d'apprentissages et de création technologique..... 332

1.2.1. Les systèmes territorialisés d'innovation 333

1.2.2. Les approches « proximitistes », formes alternatives de proximités à l'appui de la création technologique..... 340

1.3. Les approches en termes de dynamique de territorialisation..... 344

1.3.1. L'approche par les ressources de Colletis et Pecqueur : une typologie en termes d'actifs et de ressources spécifiques et génériques..... 347

1.3.2. L'approche par les ressources de Colletis et Pecqueur : une approche de la dynamique technologique en termes de dynamique de territorialisation..... 350

2. Territoire, industrie et « bien système » : généralisation à partir du cas exemplaire de l'émergence d'une industrie de l'automobile électrique en Californie 354

2.1. La Californie, creuset de l'émergence d'une industrie de l'automobile électrique 355

2.2. Démographie des firmes : émergence des producteurs d'automobiles électriques aux Etats-Unis (1992-2007) 359

2.3. Emergence d'une industrie de l'automobile électrique dans la crise (2007-2010) : le rôle des recompositions macroéconomiques 364

2.4. Emergence d'une industrie de l'automobile électrique dans la crise (2007-2010) : le rôle central des pouvoirs publics californiens	368
2.5. La Californie et l'automobile électrique : vers la définition et l'implémentation d'un système de mobilité électrique intelligent.....	372
2.6. Corollaires et prolongements : transposabilité et généralisation du principe d'émergence territorialisée de l'automobile électrique	377
3. L'approche par les actifs et ressources territoriaux appliquée au cas de l'émergence des systèmes sociotechniques et de l'automobile électrique	379
3.1. Le phénomène d'alignement : le processus de verrouillage sur un système sociotechnique.....	381
3.2. Le phénomène de désalignement : le processus de déverrouillage d'un système sociotechnique.....	387
3.3. Le phénomène de réalignement : transition et reverrouillage des systèmes sociotechniques	393
Conclusion du Chapitre 1	401
Chapitre 2. Le bien-système territorialisé repensé à la lueur d'une grille d'interprétation lancastérienne.....	411
1. L'approche lancastérienne du bien-attributs et ses prolongements en termes de « <i>characteristics-based models</i> »	413
1.1. L'approche lancastérienne du bien-attributs.....	413
1.2. Une introduction aux « <i>characteristics-based models</i> »	426
1.2.1. Le modèle originel de Saviotti et Metcalfe (1984).....	427

1.2.2. Le modèle générique des innovations de biens et de services par Gallouj et Weinstein (1997)	430
1.2.3. Prolongement du modèle de Gallouj et Weinstein : précisions sur le rôle des usagers dans la production des biens et services. L'apport de De Vries (2006)	433
1.2.4. Prolongement du modèle de Gallouj et Weinstein : intégration de la dimension territoriale	436
2. Représentation lancastérienne de l'émergence des systèmes d'électromobilité	439
2.1. Représentation lancastérienne des « caractéristiques de l'AE »	441
2.2. Représentation lancastérienne des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique »	444
2.3. Représentation lancastérienne des « caractéristiques du territoire »	447
3. Une dynamique d'émergence et de diffusion de l'électromobilité par capillarité	453
3.1. Les modèles « substitution » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité	454
3.2. Le modèle « bouquet » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité.....	456
3.3. Le modèle « multifactes » à l'aune d'une émergence territorialisée et d'une diffusion par capillarité	457
Conclusion du Chapitre 2	459
Conclusion de la Partie 3	465
Bibliographie de la Partie 3	475
CONCLUSION GENERALE.....	491

Bibliographie..... 515

Annexes 561

Table des matières..... 599

Liste des Figures 609

Liste des tableaux 613

Liste des annexes 617

Liste des figures

Figure 1 : La transition sociotechnique au révélateur de la perspective multi-niveaux	24
Figure 2 : Capacités de production en batteries avancées : un panorama mondial en 11/2011.....	56
Figure 3 : Niveau et évolution du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh.....	62
Figure 4 : Emissions de CO ₂ « du puits à la roue » : une comparaison entre les véhicules électrique et thermique	67
Figure 5 : Coût total de possession de voitures thermique et électrique en France en 2012	77
Figure 6 : Comparaison des coûts associés aux véhicules thermique et électrique	78
Figure 7 : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel	100
Figure 8 : Différentiel de coût de revient de l'AE par rapport au véhicule thermique	101
Figure 9 : Différentiel de coût de revient de l'AE face au diesel – scénario « Or noir ».....	117
Figure 10 : Différentiel de coût de revient - AE / diesel, hors bonus – scénario « Or noir »	119
Figure 11 : Total Cost of Ownership – Oliver Wyman.....	128
Figure 12 : La chaîne de valeur du marché de l'électricité	136
Figure 13 : Le marché de l'électricité : imbrications et temporalités.....	136
Figure 14 : Electricité activée au titre des services système en 2010 en Europe	138
Figure 15 : Prix moyen de l'électricité activée au titre des services systèmes.....	139

Figure 16 : Modalités de valorisation de l'AE et de sa batterie dans le temps	145
Figure 17 : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Or noir »	151
Figure 18 : Coût total de détention de l'AE au terme de 6ans - scénario « Vert ».....	151
Figure 19 : Seuil de rentabilité de l'AE par rapport au véhicule diesel, par scénarios	152
Figure 20 : Alignement des sous-régimes composant un régime sociotechnique donné.....	181
Figure 21 : Les issues du processus de convergence industrielle.....	212
Figure 22 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas des « déplacements en voie propre ».....	231
Figure 23 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas de la « locomotion semi-rigide ».....	232
Figure 24 : Dendrogramme du modèle « substitution rigide » : le cas des « tournées ».....	232
Figure 25 : Modèle « substitution rigide » : infrastructures techniques et acteurs.....	233
Figure 26 : Solutions « durables » de déplacement : quelques déclinaisons.....	235
Figure 27 : Dendrogramme du modèle « substitution flexible ».....	236
Figure 28 : Adéquation de l'électromobilité aux trajets de loisirs : un raffinement	237
Figure 29 : Modèle « substitution flexible » : infrastructures techniques et acteurs.....	238
Figure 30 : Dendrogramme du modèle « autopartage »	243
Figure 31 : Modèle « autopartage » : infrastructures techniques et acteurs	245
Figure 32 : Modèle « multiface » : infrastructures techniques et acteurs.....	249
Figure 33 : Dendrogramme du modèle « multiface »	251
Figure 34 : AE et marché bifaces : l'exemple de l'opérateur <i>Freshmile</i>	267

Figure 35 : L'opérateur de mobilité propriétaire de la batterie	275
Figure 36 : L'opérateur de mobilité gestionnaire de la batterie	277
Figure 37 : L'opérateur de mobilité propriétaire de l'AE	279
Figure 38 : Représentations d'un réseau à simple voie et d'un réseau à double voie	283
Figure 39 : Modèle de structure réticulaire déployée par l'opérateur <i>Better Place</i>	284
Figure 40 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des districts industriels	337
Figure 41 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des milieux innovateurs.....	338
Figure 42 : Le processus d'innovation, la nature des apprentissages et l'information au sein des technopoles	339
Figure 43 : Démographie des constructeurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait).....	361
Figure 44 : Emergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis et en Californie – 1992-2010.....	361
Figure 45 : Forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007 (Extrait)	362
Figure 46 : Démographie et forme d'émergence des firmes productrices d'AE aux Etats-Unis – 2007-2010 (Extrait).....	373
Figure 47 : Emergence d'une situation de verrouillage technologique.....	383
Figure 48 : Préférences des consommateurs pour les caractéristiques des biens.....	417
Figure 49 : Représentation lancastérienne des choix du consommateur en termes de caractéristiques	419

Figure 50 : Détermination du niveau optimal en caractéristiques des biens : le cas des biens combinables.....	421
Figure 51 : Représentation lancastérienne : le cas de la variation des prix relatifs des biens	422
Figure 52 : Représentation lancastérienne : le cas d’une modification de la perception des caractéristiques par les consommateurs	423
Figure 53 : Représentation d’un bien en termes de caractéristiques techniques et fonctionnelles	428
Figure 54 : Le modèle complet de Saviotti et Metcalfe (1984).....	429
Figure 55 : Le modèle général de Gallouj et Weinstein (1997)	432
Figure 56 : Le modèle de De Vries (2006).....	434
Figure 57 : Ebauche d’une représentation lancastérienne des systèmes d’électromobilité.....	435
Figure 58 : Le modèle de Windrum et García-Goñi (2008).....	437
Figure 59 : Représentation simplifiée de l’émergence des systèmes d’électromobilité.....	440
Figure 60 : L’îlot des « caractéristiques de l’AE ».....	442
Figure 61 : L’îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique ».....	445
Figure 62 : L’îlot des « caractéristiques du territoire »	449
Figure 63 : Représentation générale de l’émergence des systèmes d’électromobilité	452

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les conditions d'un régime technologique	38
Tableau 2 : Tableau comparatif des technologies d'accumulateurs – actualisé 2012.....	44
Tableau 3 : Le régime technologique des batteries avancées	45
Tableau 4 : Parts de marché des principaux fabricants de batteries Lithium-Ion en 2010	53
Tableau 5 : Accords entre fabricants de batteries et constructeurs automobiles en 11/2011.....	57
Tableau 6 : Maturation technologique des batteries Lithium-Ion sur longue période	61
Tableau 7 °: Projection du coût de revient d'une batterie Lithium-Ion de 15kWh, 2008-2015.....	62
Tableau 8 : Niveau indicatif de rejets en CO ₂ des sources d'approvisionnement énergétiques.....	67
Tableau 9 : Accords officiels associant constructeurs automobiles et de moteurs électriques.....	71
Tableau 10 : Revenus des services hors ventes chez Renault et Volkswagen (2004-2010).....	74
Tableau 11 : Contribution par secteur à la marge opérationnelle du groupe Renault.....	74
Tableau 12 : Modalités d'achat d'une AE : un panorama.....	89
Tableau 13 : Grille tarifaire pour la location de batterie (Renault Fluence Z.E. – Prix TTC)	92

Tableau 14 : Coût de revient kilométrique amorti sur 30.000 kilomètres	98
Tableau 15 : Coût de revient kilométrique amorti sur 105.000 kilomètres	98
Tableau 16 : Coût de revient kilométrique amorti sur 150.000 kilomètres	99
Tableau 17 : Séquençage kilométrique de la période de six années	114
Tableau 18 : Coût de revient kilométrique amorti sur 90.000 km / scénario « Or noir »	115
Tableau 19 : Coût de revient kilométrique amorti sur 90.000 kilomètres / scénario « Vert ».....	115
Tableau 20 : Tableau d’amortissement des coûts de revient – scénario « Or noir ».....	116
Tableau 21 : Tableau d’amortissement des coûts de revient – scénario « Vert »	116
Tableau 22 : Tableau d’amortissement - coûts de revient hors bonus par scénarios	118
Tableau 23 : Valorisation <i>ex-post</i> et concomitante des batteries d’accumulateurs.....	122
Tableau 24 : Dégradation en dynamique de la capacité de stockage des batteries pour AE	124
Tableau 25 : Coûts d’usage kilométriques amortis sur 60.000 kilomètres, hors scénario	130
Tableau 26 : Nissan Leaf - prix de vente moyen en occasion.....	132
Tableau 27 : Renault Fluence - prix de vente moyen en occasion par <i>powertrains</i>	132
Tableau 28 : Valeur d’occasion d’une AE de 4 ans et 60.000 kilomètres - Estimation.....	134
Tableau 29 : Revenus issus du stockage par flotte d’AE – quelques extrapolations	142
Tableau 30 : Valeur de revente estimée d’une AE âgé de six ans par scénarios	148

Tableau 31 : Coût kilométrique total de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Or noir »	149
Tableau 32 : Coût kilométrique total de détention - 75.000 kilomètres / scénario « Vert ».....	150
Tableau 33 : Une typologie des bien-systèmes	186
Tableau 34 : Typologie des processus de convergence industrielle	213
Tableau 35 : Orientations produit, bouquet et intersectorielle : une clé de lecture.....	224
Tableau 36 : Modèles d'émergence de l'électromobilité : lecture par les fonctions	224
Tableau 37 : Une typologie des espaces et des usages de mobilité	228
Tableau 38 : Les deux composantes du modèle « substitution rigide ».....	230
Tableau 39 : Matrice de l'autopartage	242
Tableau 40 : Les opérateurs de mobilité électrique et agrégateurs de charges : un inventaire	262
Tableau 41 : Typologie et nature des ressources et actifs territoriaux	348
Tableau 42 : Rétrospective des lois sur l'air votées par le Congrès américain – 1955-1990.....	356
Tableau 43 : Véhicules électriques commercialisés en Californie durant la décennie 1990.....	359
Tableau 44 : Rétrospective des investissements privés au bénéfice des « jeunes pousses » californiennes, 1992-05/2011, en millions de dollars américains.....	374
Tableau 45 : La phase de « normalisation » : point de vue synthétique	389

Liste des annexes

Annexe 1 : Technologies de batteries actuelles éligibles à la propulsion électrique	561
Annexe 2 : Schéma représentatif du fonctionnement d'une batterie Lithium-Ion	563
Annexe 3 : Distribution géographique des réserves mondiales connues en Lithium	563
Annexe 4 : Structuration de la filière des batteries Lithium-Ion pour AE en 04/2011.....	564
Annexe 5 : Les technologies de motorisations électriques pour AE	565
Annexe 6 : Besoins énergétiques d'une voiture thermique en déplacement	565
Annexe 7 : Dépense de consommation des ménages en transports individuels en France en 2007	566
Annexe 8 : Renault Fluence dCi et Z.E.	566
Annexe 9 : Tableau récapitulatif des abréviations et de leurs significations.....	567
Annexe 10 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 30.000 km	568
Annexe 11 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 105.000 km	569
Annexe 12 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 150.000 km	569
Annexe 13 : Tableau d'amortissement du coût de revient kilométrique relatif de l'AE	570
Annexe 14 : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE par rapport au diesel	570
Annexe 15 : Evolution des prix des carburants en France – 2007-2012	571
Annexe 16 : Consommation d'électricité en kilowattheure en France – 1960-2012.....	571
Annexe 17 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 90.000 km du scénario « Or noir »	572

Annexe 18 : Calculs du coût kilométrique total amorti sur 90.000 km du scénario « Vert »	572
Annexe 19 : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE – scénario « Or noir »	572
Annexe 20 : Evolution du coût de revient du véhicule diesel selon les scénarios fixés	573
Annexe 21 : Tableau de données du coût de revient relatif de l'AE, hors bonus – « Or noir »	573
Annexe 22 : Nissan Leaf - Panier de véhicules	574
Annexe 23 : Prix spot de l'électricité en France – 2011-2012.....	575
Annexe 24 : Coût d'usage kilométrique amorti sur 6 ans et 60.000 kilomètres, par scénarios	575
Annexe 25 : Tableau d'amortissement du coût total de détention, par scénarios.....	576
Annexe 26 : Tableau de données du coût total de détention relatif de l'AE, par scénarios	577
Annexe 27 : Valeur de revente d'une AE « avec opérateur » à 6 ans pour atteindre un seuil de rentabilité nul par rapport aux autres modalités de vente, par scénarios	577
Annexe 28 : Eléments de définition comparée de l'économie de la fonctionnalité	578
Annexe 29 : Autopartage : de l'approche classique à l'approche « one-way »	579
Annexe 30 : Les étapes de la convergence industrielle	580
Annexe 31 : Modalités de déplacement : un panorama	580
Annexe 32 : Types d'infrastructures exploitées par les modèles d'électromobilité	581

Annexe 33 : Solutions « durables » de déplacement : un panorama exhaustif.....	581
Annexe 34 : Adéquation de l'électromobilité aux trajets de loisirs : le cas des batteries amovibles	582
Annexe 35 : Démographie des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007	583
Annexe 36 : Forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 1992-2007	586
Annexe 37 : Démographie et forme d'émergence des producteurs d'AE aux Etats-Unis – 2007-2010.....	590
Annexe 38 : Formalisation lancastérienne à la Gallouj et Weinstein (1997) appliquée au cas du commerce de proximité.....	593
Annexe 39 : Innovations de nature recombinate et caractéristiques finales des produits.....	593
Annexe 40 : Fisker Karma : un puzzle modulaire et géographique.....	594
Annexe 41 : L'îlot des « caractéristiques de l'AE » : illustrations et exemples	595
Annexe 42 : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : illustrations et exemples.....	596
Annexe 43 : L'îlot des « caractéristiques du client et des compétences des opérateurs de mobilité électrique » : agent révélateur des modèles d'électromobilité.....	597
Annexe 44 : L'îlot des « caractéristiques du territoire » : illustration et exemples	598