



Les opérateurs de mobilité électrique et la problématique de la diffusion du véhicule électrique (VE)

Jonathan Bainée

► To cite this version:

Jonathan Bainée. Les opérateurs de mobilité électrique et la problématique de la diffusion du véhicule électrique (VE). *L'innovation verte - de la théorie aux bonnes pratiques*, P.I.E. Peter Lang, Bruxelles, pp.125-148, 2012, 978-90-5201-864-5. hal-00980363

HAL Id: hal-00980363

<https://hal.science/hal-00980363>

Submitted on 17 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les opérateurs de mobilité électrique et la problématique de la diffusion du véhicule électrique (VE)

Jonathan BAINÉE

*ENSTA ParisTech - Unité d'Économie Appliquée
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne*

Prenant sa source d'abord dans la sphère financière et gagnant par la suite l'ensemble des secteurs de l'économie, la crise apparue en 2007 a contribué à synchroniser les temps politiques, économiques, sociaux et environnementaux. Au gré des transformations d'ordres socio-économiques et institutionnels qu'elle imprime, parallèlement aux potentialités technologiques qui la traversent et la dépassent, cette crise a engendré des conditions propices à l'émergence du véhicule électrique (VE). D'une part, la saturation des marchés occidentaux¹ associée à l'émergence des BRIC induit un déplacement du centre de gravité mondial des lieux de production et de consommation automobiles. Or, la Chine et l'Inde en particulier, mettent l'accent sur le VE (Michaux, 2010). D'autre part, le constat du déficit de soutenabilité du modèle de croissance prôné jusqu'ici par les économies de marché incite nombre de pays à engager des choix de société revus, consistant notamment à s'affranchir des énergies fossiles. Notons que le VE se situe à la confluence de la hausse tendancielle des prix du pétrole, qui le qualifie inexorablement, et de l'intégration ardue des énergies renouvelables intermittentes, selon des modalités que nous expliciterons plus en avant. Finalement, ces faits stylisés doivent être resitués dans un contexte de maîtrise de technologies avancées dans le domaine des batteries et dans celui d'un monde « connecté » en permanence par l'intermédiaire

¹ La saturation des marchés automobiles occidentaux est liée à plusieurs phénomènes concomitants. Le taux élevé d'équipement des ménages en fait un marché de renouvellement, qui plus est, traversé par un ralentissement de la croissance démographique. En outre, ce marché se singularise par une modification des usages (co-voiturage, autopartage), de même que par une désaffection croissante des jeunes générations.

d'Internet. À maints égards, cette période marque ainsi un point d'inflexion dans les politiques économique et énergétique des pays occidentaux, de même que dans les stratégies menées par leurs industriels.

Fondamentalement renouvelé par rapport au véhicule thermique usuel, tant du point de vue de sa conception technique que de son modèle socio-économique, le VE émerge sur la base d'un écosystème, effervescent et non stabilisé, composé d'acteurs traditionnels de l'industrie automobile (équipementiers, etc.), mais également d'une myriade d'acteurs inédits. Il s'agit, en particulier, du cas de firmes créées *ex nihilo*, les « opérateurs de mobilité électrique », qui se placent à l'intersection des dynamiques complexes et multi-échelles. En capitalisant sur la propriété systémique du VE, nous verrons que ces opérateurs apportent une solution simultanément favorable à l'intégration des énergies alternatives intermittentes et du VE aux systèmes électrique et énergétique existants. Dans le sillage des théoriciens des cycles technologiques², 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 ici ouvrir la « boîte noire » de la technologie (Murmman, Frenken, 2006, p. 932). L'apparition de ces nouveaux acteurs est-elle, en effet, de nature à amorcer la diffusion du VE, lui qui n'a jusqu'à présent jamais dépassé le stade de l'émergence, malgré de nombreuses tentatives (Fréry, 2000) ? Si oui, dans quelle mesure, à quelles conditions et suivant quelles modalités ? Au-delà, le rôle des opérateurs de mobilité électrique se cantonne-t-il à l'émergence du VE, ou bien est-il susceptible d'en impacter le rythme de diffusion ?

Dans la conduite de cet exercice prospectif, 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, Tirole, 2003). Le second mobilisera la littérature évolutionniste relative aux rendements croissants d'adoption, dans le cadre original d'une perspective à la fois intersectorielle et territorialisée. En écho à la problématique et afin d'embrasser les dynamiques à l'œuvre au sein de l'industrie de l'électromobilité et d'en saisir les singularités, nous proposons – dans un premier temps – d'explicitier la genèse du marché des opérateurs de mobilité électrique puis, dans un second temps, d'en préciser le périmètre et les parties prenantes à l'aide du concept de marché bifaces. Par la suite, en nous

² Nous pensons aux concepts de « Dominant Design » (Abernathy, Utterback, 1978), de « système technique » (Gille, 1979), ou encore de « Paradigme technologique » (Dosi, 1982).

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 au VE.

1. Genèse du marché des opérateurs de mobilité électrique

1.1. Problématique de l'intégration du véhicule électrique et des énergies renouvelables intermittentes au système électrique

Préalablement à l'analyse de la raison d'être des opérateurs de mobilité électrique, nous souhaitons considérer les contraintes techniques soulevées par l'émergence du VE et des énergies renouvelables intermittentes, à travers le filtre du système énergétique et du réseau de production électrique.

Dans la mesure où les transports, majoritairement automobiles, consomment près de 55 % de la production mondiale de pétrole (ADEME, 2009a), et que les projets gouvernementaux français et allemand font chacun état d'un million de VE commercialisés à l'horizon 2020, l'avènement de cette technologie interroge fondamentalement la capacité de nos économies à organiser la substitution du véhicule à moteur à explosion par son homologue à batterie. La problématique de l'accès à l'électricité, qui dépasse amplement la seule question du maillage en infrastructures de recharge, est absolument centrale dans l'émergence du VE au regard des contraintes qu'il représente pour le réseau électrique. Ainsi, l'intégration d'un nombre substantiel de VE induira, *ceteris paribus*, une inflation corrélative de la consommation – de base et de pointe – d'électricité, étant entendu que la recharge d'un tel véhicule sur une prise ordinaire de 16 Ampères s'étend sur une période de 6 à 10 heures³. Par ailleurs, le bilan énergétique global du VE est étroitement corrélé au mode de production de l'électricité qui lui permet, *in fine*, de se mouvoir (cf. annexe 1), si bien que sa combinaison aux énergies renouvelables apparaît nécessaire. Remarquons qu'au point de jonction des questions relatives au bilan énergétique global du VE et au dimensionnement du système électrique, seules les sources d'énergies fossiles les plus polluantes (centrales au charbon, fuel, etc.) sont aujourd'hui suffisamment flexibles pour répondre instantanément à tout accroissement momentané de la consommation.

³ Au surplus, si la durée de la recharge est inversement proportionnelle à l'ampérage de la borne qui l'alimente, l'appel de puissance formulé au réseau électrique évolue-lui de manière exponentielle (EDF, 2010).

L'intégration des énergies renouvelables intermittentes (éolien, photovoltaïque) au réseau électrique fait 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 (baisse momentanée du vent, rayons solaires cachés par les nuages, etc.), les variations imprévues de l'offre des producteurs constituent un aléa additionnel qui doit être compensé (Menanteau *et al.*, 2003). Rappelons en effet que l'électricité est une énergie correspondant à un déplacement d'électrons, qu'elle ne peut donc se stocker au sens propre du terme, mais seulement être convertie en une forme alternative d'énergie s'avérant, elle, 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 » génère des coûts techniques supplémentaires (Milborrow, 2001). Ceux-là ont trait en particulier 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 territorial. L'objectif est de maintenir en temps réel l'équilibre entre offre et 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 le VE pour le réseau électrique et la difficulté d'intégration des énergies renouvelables intermittentes, la procédure privilégiée par l'opérateur de réseaux repose sur une démarche rigide et contraignante consistant à recharger les VE en priorité en période creuse de consommation, c'est-à-dire durant la nuit (EDF, 2010). Une solution plus commode s'esquisse néanmoins, capitalisant sur l'apparition du *smart grid* sous la forme de « grappes d'innovations » (Lesgards, 2011) et sur la propriété systémique du VE. Le *smart grid* correspond à l'application des technologies de l'information (TIC) à l'aval de la production électrique, *i.e.* aux réseaux de transport et de distribution. Dans le système qui prend forme, ces puces savantes permettent tout à la fois d'intégrer sans heurts les énergies renouvelables, 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. Le *smart grid* assure ainsi une intermédiation efficiente entre les énergies renouvelables et le VE qui se révèle, lui-même, un maillon central du système. En effet, le VE est non seulement un moyen de locomotion, mais aussi une instance de stockage transitoire de l'électricité. Il a une double fonction de mobilité et de stockage.

1.2. Fonction de stockage et fonction de mobilité attachées au véhicule électrique

Le VE, que l'on peut définir comme un véhicule mu par un moteur électrique alimenté par une batterie d'accumulateurs, elle-même susceptible d'être rechargée depuis le réseau électrique⁴, à toujours buté sur trois principaux verrous d'ordre technico-économique. Au premier chef, le coût élevé de ses batteries, situé aujourd'hui entre 10 000 et 20 000 euros (Electrification Coalition, 2009) pour un élément d'une puissance de 25kWh, suivant la technologie – non tout à fait standardisée – des batteries et le positionnement le long de la courbe d'apprentissage. En second lieu, son autonomie limitée à une distance comprise entre 120 et 250 kilomètres, en fonction de la technologie, du coût et du poids des batteries. En troisième lieu, la durée de sa recharge, élément d'ores et déjà évoqué. L'idée que nous défendons ici repose sur la fertilisation croisée des problématiques de la charge du VE et de l'intégration des énergies renouvelables intermittentes au système électrique, dans la mesure où celle-ci cherche à contourner, sinon à défaire les verrous technico-économiques s'imposant au VE. Deux caractéristiques précisent les contours de ce phénomène. Il s'agit tout d'abord d'une évolution vers une charge optimisée du VE, puis du passage implicite de la notion de déplacement à celle de la mobilité.

Nous avons vu que l'adoption en masse du VE imposait une gestion raisonnée de sa charge afin de veiller à une étroite adéquation entre les capacités de production et le volume de la demande d'électricité. Quelles qu'en soient les modalités⁵, cette gestion raisonnée consiste à s'assurer que les VE sont rechargés, non pas de façon aléatoire, mais lorsque l'énergie disponible est effectivement abondante. En particulier, il fait sens de privilégier les sources propres et ainsi renoncer aux sources d'énergies fossiles polluantes. C'est précisément ici qu'intervient la capacité de stockage (d'électricité) du VE, dont le bénéfice est double. 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 possibilité de stocker l'énergie ainsi produite, la gestion de la fourniture et de la consommation d'énergie via l'association du *smart grid* et du stockage d'électricité par les batteries

⁴ Cette définition prend en compte les véhicules électriques « purs », de même que les véhicules hybrides rechargeables (*Plug-in hybrid*), pour lesquels la chaîne de traction électrique (moteur électrique, batterie d'accumulateur et électronique de puissance) est associée à un moteur thermique usuel.

⁵ Ces modalités sont au nombre de deux. D'une part, privilégier les recharges lentes en périodes creuses de consommation. D'autre part, s'assurer que la recharge s'opère durant une période marquée par un niveau de production – variable – d'électricité supérieur à la consommation, au besoin, en stockant ce surplus.

des VE est susceptible de changer la donne. Au moyen de protocoles *Vehicle-to-Grid* et *Vehicle-to-Home*⁶, dont le développement est initié dès 2006 aux États-Unis, 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 tendent à se qualifier mutuellement. En outre, en ayant la capacité d'absorber l'excédent d'énergie en période creuse de consommation d'électricité et de le dégager sur le réseau aux heures de pointe, il est possible de dégager un revenu du VE en tirant parti du différentiel de valeur (*spread*) entre le prix de l'électricité à l'achat et son prix à la revente. Ce dernier s'assimile alors à une centrale électrique virtuelle répartie et consolide, par-là, l'équation économique du VE (Kempton, Tomic, 2005)⁷.

En constituant dans ce cadre un maillon central du système électrique, le VE se situe à la croisée d'un changement de paradigme dans l'usage de « l'automobilité » qui marque un passage de la notion de déplacement à la notion de mobilité. À rebours de l'usage traditionnel de l'automobile, c'est-à-dire flexible, polyvalent et parfaitement individualisé, l'usage du VE est davantage régi et contraint car collectivement organisé. En effet, la gestion optimisée des périodes de charge et de décharge doit être intimement articulée à la problématique des déplacements, dans la mesure où ces derniers impriment le volume de charge nécessaire pour parcourir une distance conforme aux desideratas de l'usager de la route et qu'ils conditionnent ainsi la période de temps pendant laquelle le VE est relié ou non au réseau. Faire en sorte qu'un VE soit mis à disposition à une heure précise et en état de rouler sur une distance déterminée met l'accent sur les moyens de juguler ses faiblesses en termes de durée de recharge et d'autonomie. Le but est ici de minimiser la plage horaire durant laquelle le VE quitte son rôle de maillon du système électrique, ce qui suppose de multiples retours d'informations⁸, dont il est l'origine ou la destination. En cela, le VE devient le support d'un bouquet de services innovants ou d'une « suite servicielle ».

⁶ La première nommée permet le transfert d'énergie du VE au réseau électrique local ou national, tandis le protocole *Vehicle-to-Home* assure le transfert d'énergie depuis le VE jusqu'au réseau électrique domestique.

⁷ Kempton et Tomic (2005) démontrent que le concept de *Vehicle-to-Grid* permettrait aux propriétaires de VE de générer un revenu annuel de 3 000 dollars par le biais d'un contrat de rachat de l'électricité auprès d'un distributeur d'électricité.

⁸ Ces informations relèvent tout à la fois de l'accès à l'infrastructure publique et privée de recharge (positionnement, disponibilité, etc.), de la maîtrise en temps réel du niveau de charge du VE, ou encore de la maîtrise de la modulation en charge du VE, en fonction d'un degré de priorité préétabli.

Ce rapide aperçu des problématiques soulevées par le déploiement du VE indique que celui-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. À notre sens, cet aperçu nous permet de tirer deux enseignements essentiels. D'une part, la nature systémique du VE génère les conditions d'existence d'un écosystème solide. Alors qu'il avait jusqu'à présent toujours failli dans la création de telles conditions⁹, le VE entre probablement 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 extraordinaire des services associés à l'électromobilité, qui invite de nombreux acteurs à investir l'industrie du VE 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 intelligent et interactif le VE évoluant dans un réseau routier, mais également électrique. D'autre part, le VE peut s'appréhender comme un « bien-système territorialisé » car il est spécifié par les territoires de production et de consommation dans lesquels il s'insère¹⁰. Il constitue en cela la pierre angulaire d'un changement profond de paradigme de la mobilité en nécessitant le recours à une gestion fine et optimisée des déplacements, mais également des productions et des consommations d'électricité. À l'interface entre le VE et les infrastructures électrique, télécoms, routières et énergétiques, il existe un espace, un marché, que de nouveaux acteurs visent à combler en capitalisant sur le décroisement de secteurs économiques jusqu'ici hermétiques et dont ils assurent désormais le bouclage : les opérateurs de mobilité électrique.

⁹ Compte tenu de la fiabilité importante et des coûts de maintenance modiques du VE, conjugués au fait que le réseau de distribution automobile vit essentiellement des réparations et de l'entretien des voitures, la substitution des véhicules thermiques par leurs homologues électriques engendre de vives inquiétudes. Hamilton (1980) estimait que celle-ci provoquerait la reconversion ou la disparition de 3 millions d'emplois aux États-Unis.

¹⁰ Bainée Jonathan, *Conditions d'émergence et de diffusion d'un « Bien Système Territorialisé » : le cas du Véhicule Électrique*, Thèse en cours de préparation à l'Unité d'économie appliquée de l'ENSTA ParisTech pour le doctorat de Sciences économiques, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.

2. Le marché des opérateurs de mobilité électrique : un marché bifaces

Un exercice de compréhension du rôle tenu par les opérateurs de mobilité électrique, ou encore « agrégateurs de charges », se heurte rapidement au problème de la définition d'une activité qui n'est pas encore totalement stabilisée. Dans une approche générique, il s'agit d'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, Le Goff, 2012). Afin d'appréhender la physionomie d'émergence contemporaine du VE associé aux opérateurs de mobilité électrique et, dans le prolongement, d'en interpréter les modèles d'affaires, nous entreprenons d'ouvrir la boîte à outils que constituent les travaux en économie industrielle. Au regard de sa proximité avec les éléments précédents et de son caractère opérationnel, il nous semble que 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, nous tenterons de l'adapter au cas de l'industrie du VE.

2.1. Comprendre, définir et interpréter la notion de marché bifaces

Pour les sciences économiques, un marché bifaces est un marché dont l'agencement entretient, voire nécessite, l'existence de deux clientèles tout à fait différentes, mais néanmoins interdépendantes l'une de l'autre pour les produits qui y sont échangés. En d'autres termes, ces marchés mettent en relation deux groupes d'agents qui ont des gains potentiels à interagir (Rochet, Tirole, 2006). À titre d'exemple, l'utilité pour un consommateur de posséder une carte de crédits dépend du nombre de marchands et de commerçants qui sont prêts à l'accepter comme moyen de paiement. À 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 qui la possèdent (Grabszewicz, Wauthy, 2004). Dans cette représentation, les banques constituent la « plateforme » d'un marché composé de deux versants complémentaires : les consommateurs sur l'un des versants et

les commerçants sur l'autre. Sans « embarquer » 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).

Si la notion de marché bifaces s'est longtemps heurtée à sa nature polysémique, des réalités multiformes pouvant se réclamer de ce vocable, elle 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 plateforme 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 de l'autre côté du marché, nombre qui dépend lui-même des décisions de prix de la plateforme. Remarquons que l'absence de l'une de ces caractéristiques permet généralement de se ramener à des situations où la dimension à multiples versants est peu pertinente (*ibid.*), le marché relevant alors d'un réseau simple ou d'un monopole vertical. Afin de mesurer la pertinence de l'analogie entre le diptyque VE-opérateur de mobilité électrique et le concept de marché bifaces, nous proposons de discuter notre cas d'espèce au regard de ces trois critères.

2.2. Analogie entre le couple VE-opérateur de mobilité électrique et le concept de marché biface

En premier lieu, le marché du VE se structure-t-il autour d'une plateforme qui propose des services distincts à deux versants d'un même marché ? Dans le cadre de la première partie de ce travail, nous avons mis en exergue les deux fonctionnalités attachées au VE. Il s'agit de ce que nous avons dénommé la fonction de mobilité et la fonction de stockage d'énergie. De plus, nous avons mis en évidence le fait que l'émergence contemporaine du VE 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 (électrique, télécoms, routières et

énergétiques), 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 (cf. annexe 2). Il est en outre possible d'appréhender ce rôle de plateforme comme le cumul de propriétés fonctionnelles (fonctions de stockage et fonction de mobilité) et structurales, puisque le VE devient un véhicule « connecté » et communicant, qui fait système avec les réseaux électriques, télécoms, énergétiques, ou encore routiers.

En second lieu, la plateforme mentionnée jouit-elle d'un pouvoir de monopole bilatéral, *i.e.* est-elle susceptible de proposer un mode de tarification (et donc un prix) spécifiques à chacun des versants du marché ? Les opérateurs de mobilité électrique disposent de la capacité 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 de la mobilité (particuliers, collectivités, firmes). D'autre part, sur la fonction de stockage, l'opérateur de mobilité se finance en revendant, auprès d'énergéticiens, l'électricité qu'il a provisoirement stocké grâce aux batteries du VE qui s'assimile alors à une centrale électrique virtuelle répartie. Rappelons, en effet, que *via* les protocoles *vehicle-to-grid* et *vehicle-to-home*, le VE 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 (cf. annexe 2), dont les modalités et les perspectives de gains dépendent de la nature du marché, réglementé ou libre.

En troisième lieu, le marché du VE présente-t-il des effets de réseau croisés, de manière à ce que l'utilité perçue par un agent participant à la prestation offerte par la plateforme et situé sur l'un des versants du marché dépende du nombre de participants sur l'autre versant ? Les effets de réseau croisés entre les fonctions de mobilité et de stockage du VE n'apparaissent pas prégnants de prime abord. *A contrario*, il semble même qu'il existe un effet de ciseaux entre les revenus appuyés sur la fonction de stockage [d'électricité] et les revenus appuyés sur la fonction de mobilité. En effet, dans une certaine mesure¹¹, l'énergie qui permet au VE de se mouvoir puise dans un capital énergétique commun avec la fonction de stockage mobilisée pour dégager l'électricité sur le

¹¹ Au cours de sa vie, une automobile reste en moyenne immobilisée l'équivalent de 92 % du temps sur une place de parking ou bien dans un garage.

réseau. Pour autant, nous estimons qu'un effet de synergie est bel et bien présent entre les deux versants de ce marché, mais par le biais de canaux indirects. Pour l'appréhender, il est ainsi nécessaire de se départir d'un raisonnement atomisé pour épouser un raisonnement agrégé. 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, dans le cas du VE, l'appariement des offres et demandes draine des externalités positives collectives et, par définition, imparfaitement valorisables en termes monétaires¹². Dans ce cadre, chaque versant du marché qualifie son vis-à-vis, et ce, dans une acception large, tant économique, qu'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'usage des énergies alternatives intermittentes qui, en retour, font écho au caractère non polluant à l'usage du VE. C'est précisément dans cette combinaison que s'ancre la perspective d'un véritable « verdissement » de la mobilité. D'autre part, précisons le caractère polymorphe de la contribution de la fonction de stockage du VE à la stabilisation, 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, *i.e.* 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. Également, elle minimise le « *curtailment* », c'est-à-dire la perte d'énergie, faute de capacité de stockage (Dietrich *et al.*, 2011). Ajoutons enfin que le VE constitue une aide non négligeable pour la continuité du service, en particulier dans les vallées encaissées et les régions escarpées ou structurellement fragilisées. En corollaire, si le cas du diptyque VE-opérateurs n'apparaît pas comme un cas générique de marché bifaces, il s'inscrit néanmoins dans un contexte marqué par l'existence de deux clientèles tout à fait distinctes, mais interdépendantes pour les prestations qui y sont échangées. Singulières, les externalités croisées entre les versants ne transitent ni de manière univoque, ni même de manière uniforme, mais indirectement par le biais d'effets externes positifs collectifs.

Après l'avoir défini, nous avons étalonné la pertinence du concept de marché bifaces au regard du cas contemporain de l'industrie du VE. Il nous est apparu, à l'instar de ce type spécifique de marché, que les

¹² Remarquons que cette propriété justifie une contribution publique à l'émergence du VE, dans la mesure où le libre fonctionnement du marché conduirait à un sous-investissement dans cette solution technologique, le bien-être collectif se montrant supérieur au bien-être individuel. Il s'agit d'un cas usuel de défaillance du marché.

opérateurs de mobilité électrique constituent l'équivalent d'une plateforme reliant deux versants d'un même marché, la fonction de mobilité et la fonction de stockage, caractérisées par des gains potentiels à interagir. En tant que tel, les opérateurs sont ainsi les médias 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. Une fois le couple formé par le VE et les opérateurs de mobilité appréhendé, nous proposons d'en compléter la portée théorique et empirique en lien avec la question de l'émergence du VE. Au-delà des phénomènes précédents, jouant essentiellement un rôle d'impulsion, abordons désormais la problématique des rendements croissants d'adoption et leur capacité à porter la diffusion du VE. Nous interprétons, en effet, la survenue des opérateurs de mobilité comme créant les conditions cadres de rendements croissants d'adoption du VE, c'est-à-dire une situation dans laquelle l'utilité associée à l'adoption d'un standard croît avec son degré de diffusion (Katz, Shapiro, 1985). Ce faisant, nous estimons pouvoir alimenter la théorie des rendements croissants d'adoption, en l'associant à des problématiques intersectorielle et territorialisée. À cette fin, nous ferons un retour sur les éléments théoriques de l'économie des réseaux et modéliserons les dynamiques observées.

3. Opérateurs de mobilité électrique et diffusion du véhicule électrique : les enseignements de l'économie des réseaux

3.1. 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 quelconque. 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 » (cf. annexe 3). Dans ce type de réseau, la communication de point à point s'effectue en sens unique, à l'instar de la radio ou encore 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 » (cf. annexe 4). 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* (ou *hub*), chargé de rediriger les appels, ou les voyageurs, vers le pôle de destination.

En adoptant une démarche qui consiste à distinguer deux alternatives, celle d'un VE dont l'usage s'appuierait sur un opérateur de mobilité électrique et celle d'un VE qui en serait dépourvu, il est possible de cerner d'un point de vue théorique et pratique la plus-value du concept de management de l'électromobilité. Dans le second cas, l'usage du VE est parfaitement individualisé, 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 lui assure de pouvoir recharger son véhicule à partir d'une ressource énergétique « décarbonée ». Dans le cas d'un VE couplé 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 du VE, les déplacements et les recharges de l'usager sont collectivement organisés, priorisés et ainsi optimisés, *par* le truchement d'une adéquation entre l'offre et la demande de mobilité et la disponibilité de la ressource en énergie. Une multitude d'outils ou de moyens sont mobilisables pour parvenir à offrir ce type de prestations. À titre d'exemple, Better Place déploie depuis 2011 en Israël 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 VE, 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 (*cf.* annexe 5).

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 la satisfaction d'un ou plusieurs autres agents. 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 aussi deux types d'externalités de réseau (Katz, Shapiro, 1985). Le premier type, les externalités directes interviennent lorsque l'accroissement du nombre d'utilisateurs d'un produit a un effet direct sur l'utilité que retirent les autres agents consommant ce produit. Elles se manifestent, par exemple, dans le cas du réseau téléphonique, où plus le nombre d'abonnés est élevé, plus

l'utilité du service offert à chaque utilisateur est importante. Le second type, les externalités indirectes, 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 (respectivement de cette technologie), ou encore de l'offre de biens et services complémentaires, c'est-à-dire liées aux « 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 ayant trait aux réseaux à simple ou à double voie et aux externalités directes ou indirectes de réseaux est riche d'enseignements. Ainsi, dans le cas typique d'un réseau à simple voie, à l'image d'un VE dépourvu des services d'un opérateur de mobilité, les externalités de réseau existent, mais ne peuvent être qu'indirectes. Un consommateur supplémentaire ne viendra pas accroître directement la valeur du réseau, mais seulement indirectement, suivant de multiples modalités. Par exemple, il pourra contribuer à l'extension et à la densification du réseau d'infrastructure de recharge, à la diversité des VE offerts et, par le jeu des économies d'échelle, à précipiter la réduction de leurs coûts de production.

À ces externalités indirectes de réseau s'ajoutent des effets directs, associés aux propriétés du réseau à double voie, lorsqu'un VE est associé à un opérateur de mobilité électrique et agrégateur de charges. La raison essentielle réside dans la complémentarité existant entre les éléments qui composent le réseau, si bien que chaque utilisateur supplémentaire engendre des externalités [directes] de réseau, qui accroissent tant l'utilité du service rendu par le réseau que la satisfaction de chaque utilisateur, depuis l'adoptant initial et jusqu'aux futurs adoptants. L'apparition et la nature de l'activité des opérateurs de mobilité électrique engendrent ainsi l'existence de rendements croissants d'adoption (Arthur, 1989) spécifiquement articulés autour de la dimension systémique du VE. Tandis que, jusqu'alors, l'accroissement du nombre des déplacements automobiles induisait surtout des externalités négatives liées à la congestion urbaine et à la saturation du réseau routier, la croissance du nombre des usagers bénéficiant d'une gestion collective de leur [électro]mobilité occasionne désormais des externalités directes de réseau, qui transitent par la maximisation de la qualité des informations transmises à chaque VE, 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 sont capables de définir un plan énergétique individualisé et adapté aux besoins ponctuels et habituels de déplacement des usagers de l'électromobilité. Nous

désignons cette activité par l'expression « management de l'électromobilité ».

3.2. Modélisation

La confrontation de la problématique du management de l'électromobilité avec l'économie des réseaux a montré que l'existence d'opérateurs de mobilité électrique engendre des rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés autour du VE. 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 du VE. Ce modèle d'oligopole statique est destiné à analyser les marchés sur lesquels les externalités de consommation sont présentes (Becker *et al.*, 2009) et à en mesurer les effets, en particulier, 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 leurs surplus dérivent du nombre des autres agents rejoignant le réseau associé à ce même bien. Lorsque ce bien est durable, tel que l'est l'automobile, c'est la taille future du réseau qui importe dans ce modèle statique. Ajoutons que dans ce modèle simplificateur, 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 un VE. Ils décident rationnellement du modèle qu'ils achètent au regard de la technologie embarquée qui maximise leur valeur totale de détention. Ce choix, qui s'opère ici entre un VE couplé à un opérateur (RCA) et un VE qui en est dépourvu (~~RCA~~), se base sur trois facteurs. En premier lieu, 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 ($\tilde{E}[E_{t+1}]$), en deuxième lieu, le prix (coût d'achat) du VE durant la période courante (p_t) et, finalement, le coût d'usage au cours de la période courante (e_t) et au cours de la seconde période ($\tilde{E}[e_{t+1}]$). La formulation du type $\tilde{E}[\cdot]$ rend compte de l'incertitude attachée à la taille future du réseau et vis-à-vis du coût d'usage du VE lors de la deuxième période.

De manière générique, le bénéfice net pour un consommateur achetant un VE est donné par :

$$(1) B_{VE} = v(E_t + \tilde{E}[E_{t+1}]) - p_t - e_t - \delta \tilde{E}[e_{t+1}], \text{ où}$$

$v(\cdot)$ 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. $\delta(\cdot)$ est un terme d'actualisation du futur coût de l'électricité.

Trois cas de figure sont possibles. Soit le bénéfice net est (2) négatif ($B_{VE} < 0$), soit il est (3) nul ($B_{VE} = 0$), soit il est (4) positif ($B_{VE} > 0$).

$$(2) v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) < p_t + e_t + \delta\check{E}[e_{t+1}]$$

$$(3) v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) = p_t + e_t + \delta\check{E}[e_{t+1}]$$

Si le bénéfice net est négatif ou nul, il n'y a pas de marché pour le VE. 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 le VE 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 du VE, 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.

$$(4) v(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) > p_t + e_t + \delta\check{E}[e_{t+1}]$$

Il y a un marché du VE, dont la taille est d'autant plus grande que les effets externes de réseaux sont eux-mêmes prégnants. Or, rappelons que les externalités positives de réseau sont décuplées avec l'apparition des opérateurs de mobilité électrique puisqu'en combinant externalités indirectes et directes de réseau, dans une perspective trans-sectorielle ils occasionnent l'existence de rendements croissants d'adoption (RCA), si bien que :

$$(5) v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) > v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]).$$

L'effet net 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 pouvaient non seulement contenir les coûts de recharge du VE, 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, il est possible de justifier que ce revenu bénéficie systématiquement au propriétaire du VE en prolongeant les enseignements du concept de marché bifaces dans une perspective trans-sectorielle (Bainée, 2011).

$$(6) e_{t(RCA)} + \delta\check{E}[e_{t(RCA)+1}] < e_{t(RCA)} + \delta\check{E}[e_{t(RCA)+1}]$$

Par souci de rigueur, mentionnons que la prestation de l'opérateur de mobilité est coûteuse, mais qu'il est raisonnable de penser que ce coût est inférieur aux bénéfices attendus, d'autant que « 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 liés à l'infrastructure sont souvent colossaux, les coûts variables liés à l'exploitation du 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.

Au total, on retire de (1), (5) et (6) que le bénéfice net pour le consommateur qui achète un VE associé à un management collectif de son usage ($B_{VE(RCA)}$) est toujours supérieur à un VE qui en est privé ($B_{VE(RCA)}$) car :

$$(7) \quad v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) - e_{t(RCA)} - \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}] > v_{RCA}(E_t + \check{E}[E_{t+1}]) - e_{t(RCA)} - \delta \check{E}[e_{t(RCA)+1}]$$

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 pour la diffusion du VE est que son association fertile à un opérateur de mobilité électrique tendra probablement à constituer un standard de fait.

Conclusion

Dans ce travail, nous nous sommes donnés pour but d'analyser les logiques et conditions d'apparition des opérateurs de mobilité électrique et de comprendre en quoi ces derniers sont susceptibles d'affecter l'émergence et la diffusion du VE.

Dans un premier temps, nous nous sommes penchés sur la genèse du marché des opérateurs de mobilité électrique. Nous avons tout d'abord analysé la nature et la portée des difficultés liées à l'intégration du VE 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 du *smart grid* et de la propriété systémique du VE qui, outre sa fonction de mobilité, est le support d'une fonction de stockage de l'électricité. En constituant un moyen de stockage transitoire, le VE contribue, en effet, à solutionner les

contraintes liées à l'intermittence de la production des sources d'énergie alternatives (éolien, photovoltaïque), tout en réduisant également l'impact de ses recharges successives pour le réseau. De fait, à l'interface entre le VE et les infrastructures électrique, télécoms, routières et énergétiques, nous avons vu qu'il existe un espace, un marché, que de nouveaux acteurs combleront en capitalisant sur le décroisement de secteurs économiques jusqu'ici hermétiques et dont ils assurent désormais le bouclage : les opérateurs de mobilité électrique.

Dans un deuxième temps, nous avons tenté d'appréhender les conditions d'existence des opérateurs de mobilité électrique, 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 de la totalité d'une flotte de VE en temps réel. À cette fin, nous nous sommes appuyés sur le concept de marché bifaces, *i.e.* 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 d'estimer 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 entre les versants, consolidant par-là l'équation économique du VE. Associé aux externalités positives appuyées sur la fonction de stockage du VE, ce phénomène forme les conditions cadres de l'émergence de ce dernier.

Dans un troisième temps, nous avons complété notre analyse des opérateurs de mobilité électrique par l'intermédiaire d'une lecture 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 opérateurs induisait l'existence de rendements croissants d'adoption spécifiquement articulés autour du VE, c'est-à-dire une situation dans laquelle l'utilité associée à l'adoption d'un standard croît avec son degré de diffusion (Katz, Shapiro, 1985). Nous avons ensuite modélisé ces effets de réseau et appréhendé leur implication sur la diffusion du VE. Cette modélisation s'est révélée précieuse par sa portée pratique et pour ses recommandations. Partant du principe que la taille du marché du VE 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 au VE, ou encore d'envoyer un signal positif sur la taille future du marché par le biais de la commande publique. 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 ne jouent pas uniquement un rôle crucial dans l'impulsion du marché du VE, mais en constituent également les acteurs d'une dynamique de diffusion singulière.

Afin de comprendre les raisons de l'apparition des opérateurs de mobilité électrique au sein de l'industrie automobile, ainsi que d'en mesurer les effets sur l'émergence et la diffusion du VE, nous avons ainsi 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, les opérateurs de mobilité électrique s'inscrivent pleinement dans une perspective territorialisée. Ainsi, s'il est vrai que le VE – qui avait jusqu'à maintenant toujours failli à créer un écosystème propice à sa diffusion – entre 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 du VE, dans le sens où elles gouvernent l'ensemble des externalités positives que les opérateurs de mobilité électrique calquent sur le VE, il nous semble que 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 du VE appréhendé comme un « bien système » à son territoire de destination (structures sociales, institutionnelles, politiques, etc.). Il s'agira d'autre part, de tester l'hypothèse d'un processus d'émergence territorialisée du VE, non pas à l'échelle continentale ou nationale, mais probablement régionale. Dans le prolongement, nous pourrions tester l'hypothèse de sa généralisation par capillarité, notamment en empruntant à la physique statistique, à l'instar de la théorie des champs de Gibbs (Dalle, 1995) et l'emploi de treillis. Recourir à ces outils vise à mettre l'accent sur

l'aspect localisé des interactions régissant l'adoption des technologies, ainsi qu'à tenir compte du fait que l'adoption d'une modalité technologique par un agent est susceptible de modifier la probabilité d'adoption de l'ensemble des modalités technologiques dans son voisinage proche.

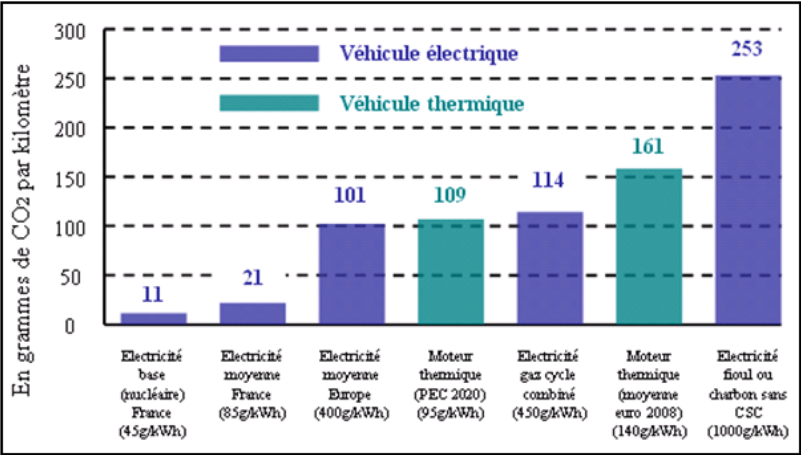
Bibliographie

- Abernathy, W.J., Utterback, J.M. (1978), « Patterns of Industrial Innovation », *Technology Review*, 80 (7), 40-47.
- ADEME (2009a), *Les transports électriques en France: un développement nécessaire sous contraintes*, (7), Paris.
- ADEME (2009b), *Enjeux, consommations électriques, émissions CO2 des transports électriques à l'horizon 2020-2030*, (22), Paris.
- Arthur, W.B. (1989), « Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events », *The Economic Journal*, 99 (394), 116-131.
- Bainee, J. (2011), « Les opérateurs de mobilité électrique et le véhicule électrique (VE). Quel(s) modèle(s) d'affaires ? », *Rencontres Internationales Mobilis 2011*, 15-16 novembre, Belfort (France).
- Bainee, J., Le Goff, R. (2012), « Crises, mondialisation et résilience des territoires : le cas de la Californie dans l'émergence de l'industrie du véhicule électrique », *Revue d'économie régionale et urbaine* (à paraître).
- Becker, T.A., Sidhu, I., Tenderich, B. (2009), *Electric Vehicles in the United States A New Model with Forecasts to 2030*, Technical Brief - Center for Entrepreneurship, Technology, University of California, Berkeley.
- Dalle, J.M. (1995), « Dynamiques d'adoption, coordination et diversité : la diffusion des standards technologiques », *Revue économique*, 46 (4), 1081-1098.
- Dietrich, K., Latorre, J.M., Olmos, L., Ramos, A. (2011), "How can the use of electric vehicles affect the curtailment of renewable generation?", *6th Conference on Energy Economics and Technology - ENERDAY 2011*, 8 Avril 2011, Dresde (Allemagne).
- Dosi, G. (1982), « Technological paradigms and technological trajectories », *Research Policy*, 2 (3), 147-162.
- Economidès, N. (1996), « The economics of networks, *International journal of industrial organization* », 16 (4), 675-699.
- EDF (2010), *EDF, acteur incontournable de la mobilité électrique*, Dossier de presse, septembre.
- Electrification Coalition (2009), *Electrification Roadmap—Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security*, novembre.
- Fréry, 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, Paris, 234-264.
- Gabszewicz, J., Wauthy, X. (2004), *Two-sided Markets and Price Competition with Multi-Homing*, CORE Discussion Paper, 2004/30, Center for Operations Research and Econometrics.

- Gille, B. (1979), « La Notion de “Système Technique”. Essai d'épistémologie technique », *Technique et Culture*, 1, 8-18.
- Hamilton, W. (1980), *Electric Automobiles: Energy Environmental and Economic Prospects for the Future*, McGraw Hill, Columbus.
- Katz, M., Shapiro, C. (1985), « Network Externalities, Competition and Compatibility », *American Economic Review*, 75 (3), 424-440.
- Kempton, W., Tomic, J. (2005), « Vehicle to Grid Fundamentals: Calculating Capacity and Net Revenue », *Journal of Power Sources*, 144 (1), 268-279.
- Lequeux, F. (2002), *Concurrence et effets de dominance économique dans l'industrie multimédia*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris I Panthéon Sorbonne.
- 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, Cahiers d'économie de l'innovation*, De Boeck, 34, 57-76.
- Menanteau, P., Finon, D., 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, 32, 1-17.
- Michaux, F. (2010), Monographies des plans nationaux d'action en faveur de l'électro-mobilité, Confrontation Europe - Entretiens européens à la recherche de la voiture propre, Avril.
- Milborrow, D. (2001), « Penalties for intermittent sources of energy », *Working Paper for PIU (Performance and Innovation Unit) Energy Review*.
- Murmann, P., Frenken, K. (2006), « Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change », *Research Policy*, 35, 925-952.
- Rochet, J-C., Tirole, J. (2003), « Platform Competition in Two-Sided Markets », *Journal of the European Economic Association*, 1 (4), 990-1029.
- Rochet J-C., Tirole J. (2006), « Two-Sided Markets: A Progress Report », *RAND Journal of Economics*, 37 (3), 645-667.
- Schumpeter, J.A. (1942), *Capitalism, Socialism and Democracy*, Harper Brothers, New York.
- Wauthy, X. (2008), « Concurrence et régulation sur les marchés de plateforme : une introduction », *Reflets et perspectives de la vie économique*, De Boeck, 0 (1), 39-54.
- Weyl, G. (2010), « A Price Theory of Multi-sided Platforms », *American Economic Review*, 100 (4), 1642-1672.

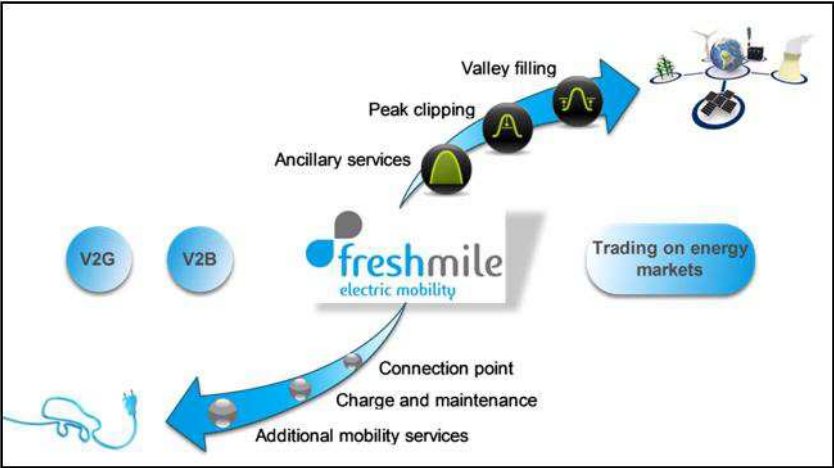
Annexes

Annexe 1 : Émissions de CO₂ « du puits à la roue »
des véhicules électriques et thermiques



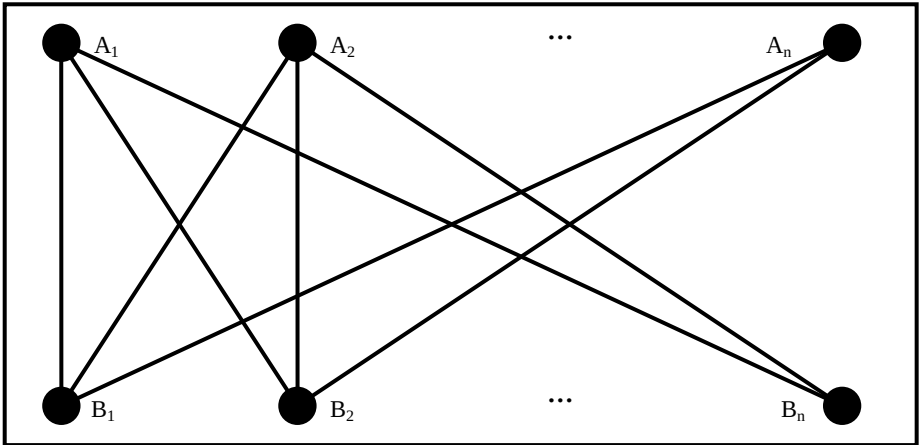
Source : ADEME (2009b).

Annexe 2 : VE et marché bifaces :
le cas de l'opérateur français Freshmile



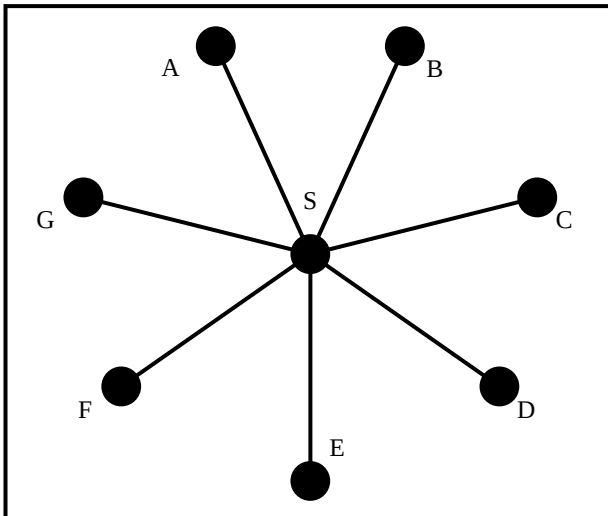
Source : Freshmile (<http://www.freshmile.com/>)

Annexe 3 : Représentation d'un réseau à simple voie



Source : ECONOMIDÈS (1996)

Annexe 4 : Représentation d'un réseau à double voie



Source : ECONOMIDÈS (1996)

**Annexe 5 : Modèle de structure réticulaire déployée
par l'opérateur Better Place**

