

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

Les véhicules électrifiés – terme rassemblant les véhicules électriques (VE) et les hybrides rechargeables (PHEV)¹ – sont considérés comme une des réponses à la réduction de la facture énergétique et des impacts environnementaux des transports. Si l'hybridation légère ou moyenne des voitures est un concept qui se généralise progressivement, le marché des véhicules électrifiés reste encore émergent. Alors que la barre symbolique d'un million de véhicules électrifiés en circulation dans le monde a été atteinte en 2015, et que les ventes continuent de progresser d'année en année, quelques limitations pourraient toutefois nuire à la poursuite de ce développement. Des prix d'achat élevés, la nécessité d'établir des politiques publiques incitatives pour augmenter significativement les ventes ou une autonomie somme toute encore assez limitée sont autant de barrières à franchir pour inscrire durablement le véhicule électrifié dans le parc automobile mondial. Cette note permet de faire le point sur ce marché spécifique et de mettre en avant les raisons de croire à la poursuite de son développement. Il traite majoritairement des véhicules particuliers (y compris les microcars) et utilitaires, mais un encadré spécifique est dédié aux deux-roues.

Une croissance continue des ventes dans le monde

Le marché des véhicules légers électrifiés (VE + PHEV) ne cesse de progresser depuis l'apparition des premiers modèles de grande diffusion lancés au début de cette décennie. Alors que l'on ne comptabilisait que 50 000 véhicules vendus dans le monde en 2011, le marché a progressé de plus de 70% l'an dernier pour atteindre les 565 000 véhicules vendus. En 2015, pour la première fois, sept pays ont vu leurs ventes de véhicules électrifiés franchir la barre des 1% de parts de marché (Chine, Danemark, France, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni et Suède).

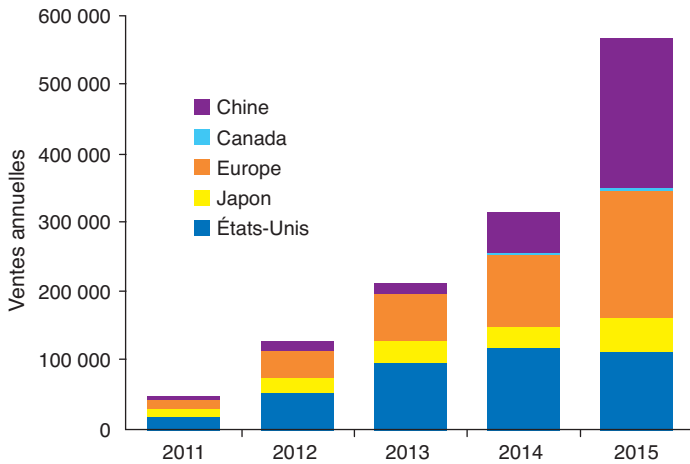
La figure 1 détaille les cinq marchés les plus porteurs. Aujourd'hui, 95 % des ventes s'effectuent dans ces cinq zones : Canada, Chine, États-Unis, Europe et Japon. Avec une progression spectaculaire de 345% et 214 000 véhicules rechargeables vendus, la Chine a été le principal moteur de croissance du véhicule électrique en 2015, porté par la bonne santé du constructeur BYD, véritable locomotive et leader mondial en termes de volumes de ventes (60 000 véhicules électriques ou hybrides rechargeables en 2015, devant Tesla et ses 50 600 véhicules vendus). La Chine est ainsi devenue, en 2015, le premier marché du véhicule électrifié au monde, devant les États-Unis (115 300) et le Japon (46 300).

En Europe, second marché mondial du véhicule électrifié, les immatriculations ont presque doublé pour atteindre

⁽¹⁾ PHEV pour Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

Fig. 1 – Évolution des ventes annuelles de véhicules légers électrifiés (VE + PHEV) dans le monde



Source : ANL et EAFO

187 000 exemplaires l'an dernier. Les pays qui contribuent le plus sont les Pays-Bas (44 500), la Norvège (33 600), le Royaume-Uni (27 800), l'Allemagne (23 200) et enfin la France (22 800). Ces cinq pays regroupent à eux seuls 81 % des ventes totales en Europe. En revanche, le marché s'est légèrement contracté de 3 % aux États-Unis du fait d'un relatif manque de renouvellement des modèles et de la baisse du prix de l'essence. Les bons chiffres de ventes pour le premier semestre 2016 montrent que ce ralentissement était passager (+18 % par rapport au premier semestre 2015). Enfin, il est intéressant de noter qu'en 2015 il s'est vendu 40 hybrides rechargeables pour 60 véhicules électriques dans le monde. Cette répartition devrait se stabiliser dans les années à venir.

Le parc mondial de véhicules électrifiés a franchi la valeur symbolique du million de véhicules en circulation courant 2015, pour atteindre 1,26 million au 31 décembre 2015 (740 000 VE et 520 000 PHEV). D'après des estimations basées sur les volumes de ventes du premier semestre 2016, la barre des deux millions de véhicules électrifiés dans le monde devrait même être franchie d'ici la fin de l'année (fig. 2).

Bien qu'en nette progression, le marché des véhicules électrifiés reste encore marginal et ne représente que 0,1 % du parc automobile mondial en 2015, alors que la part était de 0,08 % en 2014. L'impact environnemental et énergétique du déploiement du véhicule électrifié reste encore faible, mais le changement d'orientation des acheteurs semble amorcé. Certains pays comme la Norvège, les Pays-Bas ou la Chine ont vu la part de marché des véhicules électrifiés augmenter fortement depuis quatre ou cinq ans. En 2015, 22 % des véhicules légers vendus en Norvège étaient électrifiés et 10 % aux

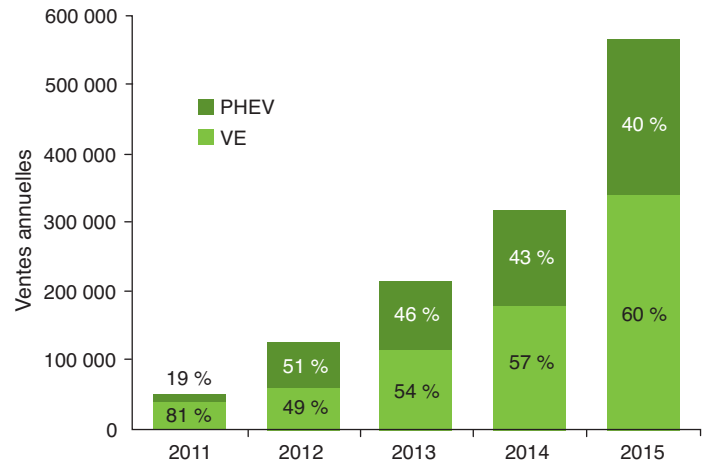
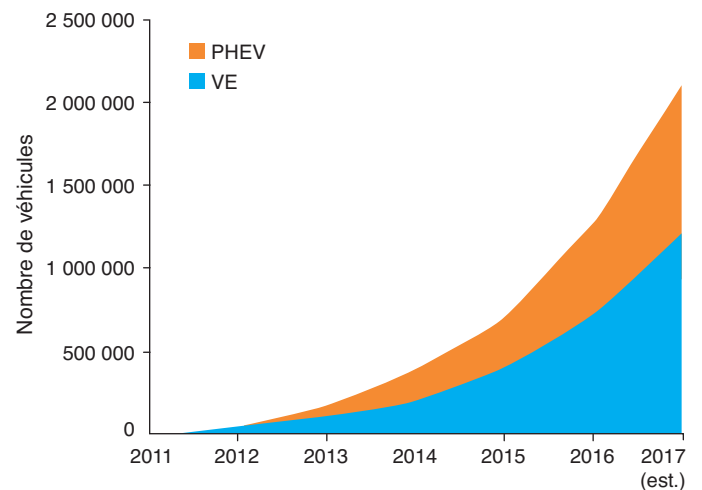


Fig. 2 – Évolution du parc mondial de véhicules électrifiés au 1^{er} janvier de chaque année



Source : EV-Volumes

Pays-Bas (ces deux gouvernements ayant mis en œuvre des politiques très incitatives).

Les bus électriques

Le parc mondial de bus électriques, fin 2015, est estimé à 173 000 unités, presque tous en Chine où on en dénombrait 150 000 fin 2015, soit six fois plus qu'un an plus tôt. Le gouvernement chinois a comme projet d'investir massivement dans l'électrification du transport, et cela s'applique donc aussi aux transports en commun, afin de lutter contre la pollution urbaine. D'ici à 2020, la Chine aura plus de 200 000 bus électriques sur ses routes, accompagnés d'un réseau de quelque 4 000 bornes de recharge dédiées.

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

Hormis la Chine, quelques pays possèdent une flotte de bus électriques mais sans commune mesure avec le géant asiatique (100 en Inde, 95 aux Pays-Bas, 30 en Suède, etc.).

Les modèles stars du marché

Le tableau 1 classe les dix modèles les plus vendus dans le monde durant le premier semestre 2016. Les véhicules électriques sont sur fond vert, tandis que les hybrides rechargeables sont sur fond bleu. Il est à noter que le premier modèle du segment microcar est placé à la 19^e position (Kandi K10 EV).

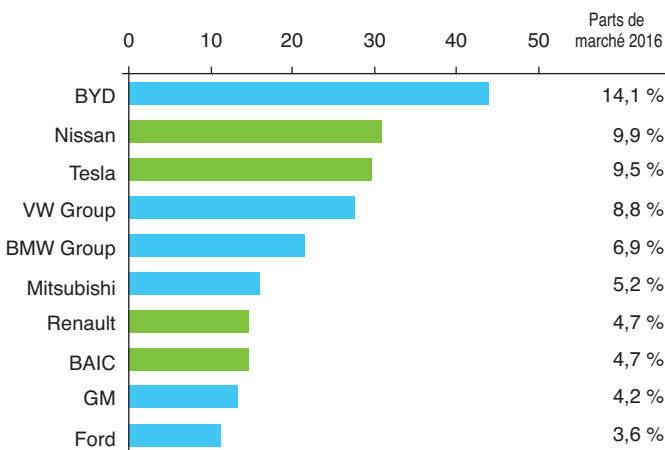
Tableau 1

Classement des dix modèles électrifiés les plus vendus en 2016

Modèles	Segments	Ventes – S1 2016
Nissan Leaf EV	C	27 765
Tesla Model S	E	22 556
BYD Tang PHEV	SUV	19 134
Mitsubishi Outlander PHEV	SUV	15 501
Renault Zoe EV	B	11 885
BYD Qin PHEV	D	11 129
Chevrolet Volt EREV	C	11 124
BAIC E-Series EV	B	9 977
BMW i3 EV	Monospace compact	9 271
BYD e6 EV	Monospace compact	9 226

Source : EV – Volumes

Fig. 3 – Classement des dix premiers constructeurs de véhicules électrifiés dans le monde



Source : EV-Volumes

Si on établit le même type de classement pour les constructeurs (fig. 3), le chinois BYD est nettement en tête avec 44 000 véhicules vendus au cours du premier semestre 2016 (14,1 % de parts de marché), suivent Nissan (30 500), Tesla (29 500) puis le groupe Volkswagen (28 000). Renault est en 7^e position avec 14 500 véhicules écoulés dans le monde (4,7 % de parts de marché).

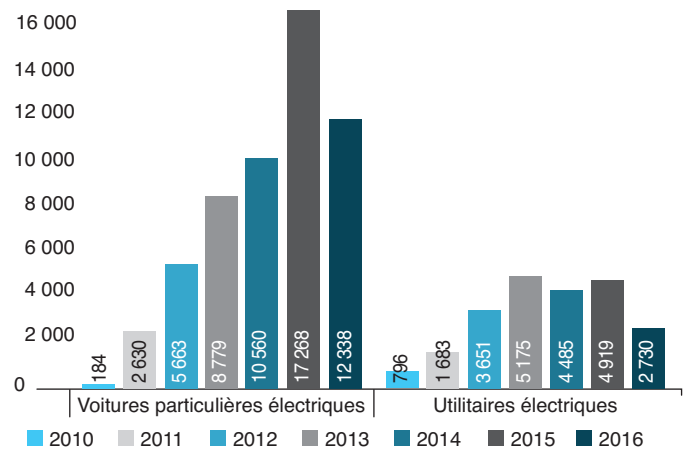
Focus sur le marché français

La France, leader européen du véhicule électrique

En France, 17 200 voitures particulières électriques ont été immatriculées en 2015, dans un marché de 1,91 million d'unités, soit une part de marché équivalente à 0,9 % (chiffres CCFA²). Dopées par des aides à l'achat attractives, les ventes de voitures électriques en France ont bondi de 64 % l'an passé. Étant donné le renforcement des dispositifs d'aide à l'achat en vigueur en 2016, les professionnels sont optimistes pour cette année³. À la fin du premier semestre 2016, déjà 12 300 véhicules électriques ont été vendus, en augmentation de 54 % par rapport à la même période de 2015 et 2 700 véhicules utilitaires (+ 34 %). Cela permet à la France de prendre pour la première fois la tête du marché européen du véhicule électrique en termes de volume des ventes, devant la Norvège et le Royaume-Uni (fig. 4).

Les deux modèles leaders sur ce segment sont de loin la Renault Zoe et la Nissan Leaf avec respectivement 10 400 et 2 150 modèles écoulés en France en 2015.

Fig. 4 – Évolution des immatriculations de véhicules électriques en France à fin juin 2016



Source : Avere

[2] Comité des constructeurs français d'automobiles

[3] Depuis le 1^{er} janvier 2016, le gouvernement a instauré un superbonus de 10 000 € pour l'achat d'un véhicule électrique et la mise au rebut d'un véhicule Diesel de plus de dix ans

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

Hybride rechargeable : une chance pour la mobilité électrique

Bénéficiant également du soutien des pouvoirs publics, les véhicules hybrides rechargeables ont connu une année de forte croissance en France en 2015 (5 600 immatriculations contre 1 930 en 2014). Sur le premier semestre 2016, alors que les aides à l'achat ont très nettement diminué (1 000 € en 2016 contre 4 500 € en 2015), on note quand même une augmentation marquée des ventes d'hybrides rechargeables (3 800 véhicules vendus contre 2 360 sur la même période en 2015). Le regard des utilisateurs semble donc changer : le véhicule électrifié devient progressivement une alternative crédible aux véhicules thermiques. Le marché des véhicules hybrides rechargeables est en plein essor et les constructeurs lancent à présent chacun leur modèle, ce qui multiplie l'offre et aussi les ventes.

Sur le marché de l'hybride rechargeable en France, c'est la Volkswagen Golf GTE (1 695 ventes) qui arrive en tête, suivie de l'Audi A3 e-tron (913). Viennent ensuite les Mitsubishi Outlander PHEV, BMW i3 REx (prolongateur d'autonomie), Porsche Cayenne S-E Hybrid, BMW X5 xDrive 40e, VW Passat GTE, BMW i8, Volvo V60 PHEV, Mercedes Classe C 350e et finalement la Toyota Prius plug-in Hybrid.

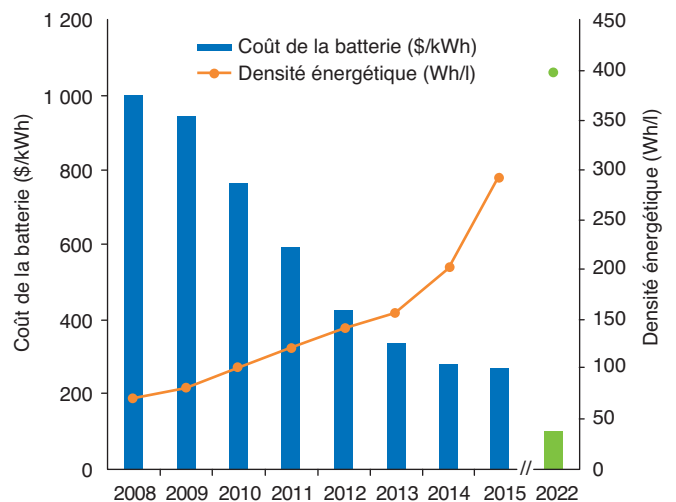
Actuellement, l'autonomie de ces véhicules en mode électrique reste modeste, de 25 km pour la Toyota Prius à 50 km pour une Volkswagen Golf. Seule la BMW i3 avec 150 km est un peu à part, car vraie électrique avec prolongateur d'autonomie. Avec des batteries de plus grande capacité, cette autonomie devrait augmenter sensiblement dans les prochaines années.

L'autonomie est-elle encore un point bloquant ?

Même si l'autonomie actuelle des VE permet de couvrir la majorité des déplacements quotidiens, elle reste l'un des principaux freins à l'achat après le prix de vente hors aides publiques. Pourtant les progrès techniques sont réels et les industriels continuent d'investir afin d'augmenter l'autonomie des batteries, mais aussi leur poids, en améliorant leur densité énergétique. La figure 5 montre que le prix des batteries a été divisé par quatre depuis 2008, pour s'établir à environ 265 \$/kWh d'après le département de l'Énergie des États-Unis (DOE). Il s'agit du prix des cellules. À cela, il faut ajouter le prix du reste du pack batterie, à savoir le système de refroidissement, le coffrage, et le système de management.

On arrive alors à environ 450 \$/kWh. Tesla et GM ont annoncé des objectifs très ambitieux de diminution des coûts pour 2020 et 2022, afin d'approcher la barre des 100 \$/kWh pour les cellules. En parallèle, la densité énergétique augmente fortement (environ 295 Wh/l pour les meilleures cellules, ce qui représente une énergie spécifique de 150 à 180 Wh/kg), ce qui permet là aussi d'augmenter l'autonomie des VE, et de répondre aux attentes des acheteurs. Toujours d'après le DOE, l'objectif des constructeurs est de parvenir à une densité énergétique de 400 Wh/l d'ici à 2022 (soit environ 200 à 240 Wh/kg), soit une amélioration de 36 % par rapport à l'existant. Bien entendu, ces valeurs resteront toujours très éloignées de la densité énergétique des carburants pétroliers (environ 9 400 Wh/l pour l'essence).

Fig. 5 – Progrès des batteries en termes de coût et de densité énergétique



Source : département de l'Énergie américain (DOE)

Concrètement, la majeure partie des modèles (Zoe, Leaf, i3, eGolf) embarque une capacité de batterie li-ion allant de 22 à 33 kWh. Les autonomies annoncées par les constructeurs de ces modèles se situent entre 190 et 310 km. Cela dépend bien évidemment de la capacité embarquée, mais aussi du poids du véhicule et du rendement de la machine électrique. Le constructeur Tesla a un positionnement différent puisqu'il a choisi, entre autres, d'équiper ses modèles (Model S) avec des batteries de plus grande capacité, allant de 70 à 90 kWh. L'autonomie, mais aussi le poids et le prix, s'en trouvent augmentés. L'autonomie atteint ainsi une valeur comprise entre 370 et 500 km, pour un prix allant de 77 000 à 105 000 € (à titre de comparaison, et même s'il ne s'agit pas de la même gamme de véhicule, la Nissan Leaf 30 kWh est affichée au prix de 35 300 € pour 250 km d'autonomie).

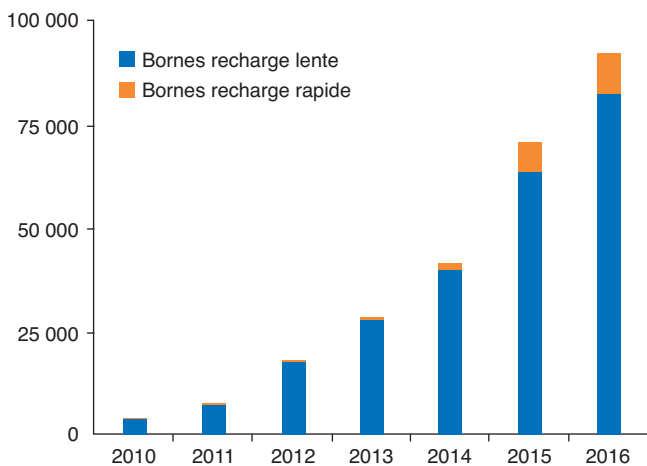
Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

Les bornes de recharge

L'existence d'un réseau de recharge électrique efficace est une condition nécessaire au succès de la voiture électrique. La majorité des conducteurs choisit en priorité la recharge domestique, qui s'effectue sur la place de parking ou dans un garage. On estime que ce mode de recharge représente environ 80 % des charges de véhicules électriques. Cependant, pour rendre possible des déplacements plus longs que le trajet domicile-travail par exemple, il est nécessaire de mailler le territoire de bornes de recharge publiques. Il est évident que des investissements dans les infrastructures de recharge permettront d'accélérer l'adoption de véhicules électrifiés. Des solutions alternatives futures paraissent très prometteuses, comme la recharge par induction sur autoroute ou les recharges partielles des bus électriques à chaque arrêt.

On estime, qu'à la fin de 2015, un total de 1,45 million de bornes de recharge était en fonctionnement dans le monde dont 1,3 million sont des bornes privées, 162 000 des bornes publiques de recharge dite lente, et 28 000 des bornes publiques de recharge dite rapide. La croissance du nombre de bornes de recharge suit globalement la croissance des ventes de véhicules électrifiés, mais la plupart sont des bornes de recharge domestiques. À noter toutefois qu'en ce qui concerne les bornes publiques de recharge rapide, la Chine et le Japon sont en tête avec, à eux deux, plus des deux tiers du marché. En Europe, l'infrastructure se met peu à peu en place (fig. 6). En France, on compte, à ce jour, 12 100 bornes publiques de recharge lente et 1 300 bornes de recharge rapide, réparties dans environ 4 000 stations. En 2013, on n'en comptait que 5 300 et l'objectif du gouvernement est d'atteindre 50 000 bornes publiques d'ici à 2020.

Fig. 6 – Développement de l'infrastructure de recharge en Europe



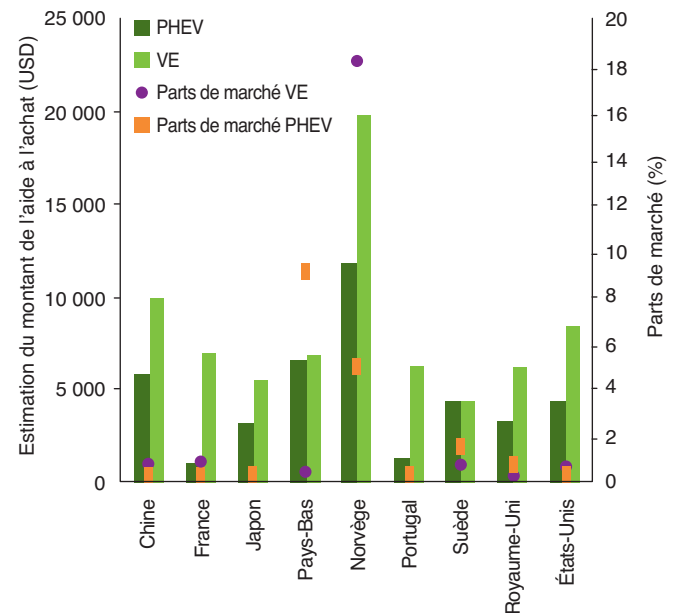
Source : EAFO

Politiques publiques incitatives

Le transport routier et de marchandises étant l'un des principaux secteurs émetteurs de GES et de pollution locale en zone urbaine, de nombreux gouvernements se sont engagés sur des politiques ambitieuses de transition vers des transports plus sobres en énergie et moins polluants. Même si les avantages environnementaux du VE restent très sensibles aux hypothèses sur le mix électrique et au recyclage des batteries, son développement est aujourd'hui favorisé par la mise en place de nombreux dispositifs de soutien dans le monde entier.

L'électrification progressive d'un parc automobile, sous réserve que la production électrique soit peu carbonée, permet aux gouvernements de répondre aux problématiques précédentes, à savoir diminuer les émissions de GES provenant du transport (source d'environ 20 % des émissions de GES totales en Europe), limiter la pollution locale, et peu à peu réduire la consommation domestique de produits pétroliers.

Fig. 7 – Estimation des aides à l'achat de véhicules électrifiés (VE + PHEV) et parts de marché locales



Source : AIE

Il existe de multiples leviers pour tenter d'amener les acheteurs à choisir un véhicule électrifié. La plupart sont d'ordres économique et financier : taxe sur les émissions de CO₂, aide à l'achat, péage autoroutier gratuit, aide à la recherche et au développement, soutien à l'installation de bornes de recharge, etc. Mais certains gouvernements ou

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

communautés urbaines choisissent également d'aider les possesseurs de véhicule électrifié de façon pratique : politique de stationnement préférentiel, possibilité de rouler sur les voies de bus, etc. L'AIE a agrégé les différentes aides à l'achat pour neuf pays (fig. 7), et a superposé les parts de marché des véhicules électrifiés. La politique volontariste des pouvoirs publics norvégiens pour développer le véhicule électrifié (et pénaliser le véhicule thermique) apparaît très clairement. Aujourd'hui en Norvège, une voiture vendue sur cinq est électrifiée.

Quelles sont les incitations les plus efficaces ?

Le projet européen SCElecTRA, coordonné par IFPEN et réalisé en partenariat avec l'Ifstar, Kanio, EIFER et Thinkstep, a cherché à identifier les politiques publiques favorisant le développement de la mobilité électrique européenne à l'horizon 2030, mais également à évaluer leurs impacts environnementaux ainsi que leurs coûts externes. Plus de 60 scénarios de pénétration des véhicules électrifiés dans le marché européen ont été simulés. Pour élaborer ces scénarios, les politiques publiques pour le développement de la mobilité électrique ont été scindées en deux groupes selon qu'elles portent sur l'offre ou sur la demande.

Certaines conduisent à plus d'efficacité que d'autres. Le déploiement des infrastructures de recharge et les prix élevés de l'énergie sont des facteurs déterminants de l'essor de la mobilité électrique. De même, les programmes de mise à la casse et les aides à l'achat de véhicules électrifiés apparaissent plus favorables à sa démocratisation que les taxes sur les carburants.

Perspectives de croissance du véhicule électrifié

Les perspectives de croissance du véhicule électrifié dépendent fortement des politiques publiques qui seront choisies à l'avenir. En effet, même si les progrès techniques, en termes d'autonomie par exemple, sont aujourd'hui indéniables, ils ne suffiront pas à orienter durablement le choix des futurs acheteurs vers un véhicule électrifié. Ils doivent être accompagnés de politiques publiques incitatives, dont l'effet a déjà été démontré. Déjà cités plus haut, les exemples de la Norvège et des Pays-Bas montrent bien le lien étroit entre la part de marché des véhicules électrifiés dans un pays et l'ampleur de ses dispositifs de soutien.

C'est ce que démontre également les résultats du projet SCElecTRA, où selon le scénario le plus optimiste, les

véhicules électrifiés pourraient représenter jusqu'à 30 % du marché automobile européen à l'horizon 2030. Par contre, en l'absence de mesures incitatives (scénario le plus pessimiste), la part des véhicules électrifiés en Europe à l'horizon 2030 ne dépasserait pas les 15 %.

Au niveau mondial, les prévisions de parts de marché du véhicule électrifié en 2030 vont de 7 à 22 % pour les plus optimistes. Dans le scénario 4DS de l'AIE par exemple — scénario central — le développement serait plutôt modéré et le nombre total de véhicules électrifiés sur les routes atteindrait 23 millions en 2030 (pour 7 % de parts de marché). La consommation de 0,3 à 0,5 million de barils de pétrole par jour (Mb/j) (suivant les hypothèses) serait ainsi économisée.

Parmi les scénarios les plus optimistes, on peut relever celui de Bloomberg qui donne une part de marché du véhicule électrifié de 22 % en 2030 et de 35 % en 2040 (correspondant à un total de 121 millions de véhicules sur les routes en 2030 et 420 millions en 2040). Selon eux, l'ensemble des véhicules électrifiés en circulation représentera un quart du parc mondial de véhicules légers en 2040. D'après nos estimations, la consommation d'environ 2 Mb/j serait ainsi remplacée en 2030 et déplacée vers la consommation de 400 TWh d'électricité sur l'année. En 2040, cela correspondrait à 7 Mb/j qui seraient déplacés vers la consommation de 1400 TWh d'électricité sur l'année (soit environ 5 % de la demande mondiale annuelle en 2015).

Toujours au niveau mondial, le plan d'action Lima-Paris, au cœur des négociations de la COP21, fait apparaître plusieurs grandes initiatives concernant le développement de l'électromobilité. Le plan d'action appelle notamment au déploiement de 100 millions de véhicules électrifiés dans le monde d'ici à 2030. Enfin, selon l'AIE, pour tenir les objectifs du scénario 2 °C (limitation de la hausse de la température à la surface du globe à 2 °C), il faudrait atteindre le nombre de 140 millions de véhicules électrifiés en 2030. Cela représenterait une part de marché de 20 % et même, à terme, de 40 % en 2040.

Pour conclure, on constate qu'il existe un écart important à 2030-2040 entre les scénarios les plus optimistes et les plus pessimistes. Ces visions très différentes sont le reflet des incertitudes qui restent grandes quant à l'importance et à la pérennité des politiques incitant à la diffusion des véhicules électrifiés, aux progrès techniques qui seront faits dans le domaine, et aux prix à la pompe des carburants liquides.

Développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : où en est-on ?

L'électrification des deux-roues

L'électrification progressive du transport concerne également les deux-roues, dont le marché progresse lui aussi peu à peu. En 2015, l'AIE estime⁴ que 40 millions de deux-roues électriques ont été vendus dans le monde. Au total, environ 20 % des deux-roues en circulation dans le monde seraient électriques. Le marché est cependant très localisé : avec 220 millions de

deux-roues électriques en circulation (soit près de 50 % de son parc de deux-roues), la Chine est le leader mondial et le seul à atteindre des niveaux de ventes aussi élevés. Aujourd'hui, la plupart des deux-roues électriques sont vendus en Chine, suite aux restrictions sur l'usage des deux-roues thermiques mises en place en 2009 dans les grandes villes du pays pour réduire la pollution urbaine. À l'image de la Chine, le plan d'action de la déclaration de Paris appelle à étendre ce déploiement dans le monde entier avec un objectif de 400 millions d'unités (deux et trois-roues électriques) à l'horizon 2030, soit une part de marché de 70 %.

(4) Pour le marché mondial des deux-roues, on parle le plus souvent d'estimation car les données sur les ventes, notamment en Chine, sont bien plus difficiles à obtenir de façon fiable que les données pour les véhicules particuliers. Il existe donc toujours une incertitude sur les chiffres annoncés.

Cyprien Ternel – cyprien.ternel@ifpen.fr
Manuscrit remis en septembre 2016