

Une évaluation prospective des véhicules électriques

En mettant en regard les coûts et les avantages pour la collectivité d'un véhicule électrique face à un véhicule « classique » à motorisation thermique, le bilan est proche de l'équilibre à l'horizon 2020. Les gains environnementaux et les moindres consommations d'énergie compensent les surcoûts, liés à l'achat de la batterie principalement. En participant au décollage industriel de la filière, le bonus écologique contribue à la compétitivité de ces véhicules.

Leur développement nécessitera le déploiement de bornes de recharge. L'analyse montre que ces bornes seront en majorité implantées dans le domaine privé ; celles du domaine public, plus coûteuses, seront toutefois nécessaires pour la fiabilité du dispositif. Pour limiter les coûts et les émissions de CO₂, la recharge lente à domicile, faisant appel à une production électrique peu émettrice de gaz à effet de serre, est à privilégier.

Le plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables, lancé en octobre 2009, vise un objectif de 2 millions de véhicules électriques en circulation à l'horizon 2020.

Ces véhicules sont :

- le **véhicule tout électrique** qui fonctionne uniquement à partir d'une batterie rechargeable sur le secteur et ayant une autonomie de 100 à 150 kilomètres ;
- le **véhicule hybride rechargeable** qui dispose de deux énergies de propulsion : une batterie rechargeable sur le secteur (de plus faible capacité que celle du tout électrique) et un moteur thermique traditionnel.

Les premiers modèles des véhicules de nouvelle génération ont été mis sur le marché fin 2010 pour l'électrique et sont attendus en 2012 pour l'hybride rechargeable.

Une démarche d'évaluation comparative

L'évaluation présentée repose sur un bilan coûts-avantages du remplacement d'un véhicule « classique » à motorisation thermique par un véhicule électrique. Pour être pertinentes, les comparaisons sont effectuées entre véhicules d'usage équivalent. D'une part, des véhicules « urbains » à énergie fossile (essence ou diesel) sont comparés au véhicule tout électrique, puisque ce dernier, du fait de sa faible autonomie, devrait se diffuser en premier lieu pour des usages urbains ou périurbains. D'autre part, un véhicule thermique de type routier (diesel) est comparé à un véhicule hybride rechargeable, compte tenu de leur usage polyvalent.

Le bilan porte dans un premier temps sur le coût de possession du véhicule pour l'utilisateur et les coûts environnementaux pour la collectivité. Il inclut également les coûts de financement des subventions à l'achat des véhicules électriques ainsi que les pertes de recettes de taxe intérieure sur les produits pétroliers (TIPP) liées à la moindre consommation de carburant (*encadré 1*). Dans un second temps, il prend en compte, pour les véhicules électriques, le coût des infrastructures de recharge à déployer.

Un bilan équilibré à terme pour les véhicules électriques

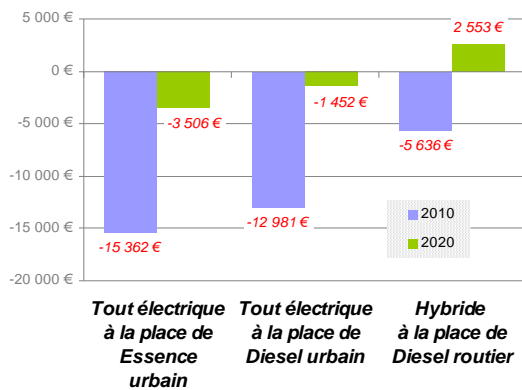
À l'horizon 2020, le bilan du remplacement d'un véhicule thermique par un véhicule électrique est proche de l'équilibre, alors qu'il était négatif en 2010 (*figure 1*).

Le bilan du véhicule hybride est plus favorable en 2020, avec un avantage de 2 500 € par rapport au véhicule diesel de type routier, grâce à la moindre consommation d'énergie et à l'avantage environnemental.

Le bilan est encore négatif en fin de période pour les véhicules tout électrique à cause d'un surcoût par rapport à leurs équivalents thermiques, principalement lié à la batterie. L'écart est moins marqué vis à vis du diesel urbain davantage émetteur de pollution locale.

Les véhicules tout électrique pourraient néanmoins être plus compétitifs pour des usages spécifiques qui permettent d'optimiser leur utilisation, tels que les flottes d'entreprises qui effectuent des trajets courts mais fréquents.

Figure 1 : Bilans coûts-avantages d'un véhicule électrique remplaçant un véhicule thermique, sur la durée de vie du véhicule (en €)



Source : calculs CGDD (effectués sur une durée de 15 ans)

Des coûts de possession plus élevés en 2010 pour les véhicules électriques ...

Le coût de possession sur la durée de vie du véhicule tout électrique présente en 2010 un surcoût de 10 000 € (soit 6 c€/km) par rapport aux véhicules thermiques « urbains » (figure 2). Le coût de la batterie pèse pour le tiers dans le coût total du véhicule électrique.

Le surcoût du véhicule hybride par rapport au diesel routier est moindre (4 000 €). Le surcoût à l'achat est partiellement compensé par une moindre consommation énergétique, dans l'hypothèse d'une utilisation à part égale de l'énergie de propulsion des batteries et de la motorisation thermique.

Aussi, en attendant le décollage de la filière et la baisse du coût de la batterie qui en résultera, le bonus écologique (de 5 000 € pour le tout électrique et de 2 000 € pour l'hybride rechargeable) atténue le surcoût des véhicules électriques.

... mais compétitifs à l'horizon 2020

En 2020, les véhicules électriques sont compétitifs avec leurs équivalents thermiques, voire avantageux pour le véhicule hybride (5 000 € d'économies).

Cette compétitivité résulte, d'une part, de la baisse du coût de la batterie (encadré 2) et, d'autre part, d'une hausse supposée plus rapide du prix des carburants que de l'électricité. Elle n'est pas remise en cause par l'amélioration des performances techniques des véhicules thermiques. Les autres coûts (achat, entretien,

assurance) sont supposés identiques en 2010 et en 2020 et très proches entre véhicules électriques et véhicules thermiques.

Encadré 1 : Méthode d'évaluation utilisée

Les hypothèses s'appuient sur les données théoriques des constructeurs. Un progrès technique des véhicules thermiques est pris en compte entre 2010 et 2020, avec des véhicules moins consommateurs de carburant.

Les calculs de coûts et d'avantages sont réalisés sur la durée de vie des véhicules et rapportés à l'année d'achat, en actualisant les montants annuels avec un taux de 4 % (rapport Lebègue, Commissariat Général du Plan, 2005). Les parcours annuels moyens sont de 13 000 km pour les véhicules « urbains » et 16 000 km pour les véhicules « routiers ». Dans les externalités environnementales sont essentiellement pris en compte l'émission de CO₂ « du puits à la roue » (de la production à la consommation d'énergie), les émissions de polluants locaux et le bruit lors de la phase de circulation. La valorisation économique de ces externalités est réalisée à partir de valeurs de référence croissantes dans le temps avec le PIB et la prise en compte de l'environnement (rapport Quinet, Centre d'Analyse Stratégique, 2008 ; *Handbook*, Commission Européenne, 2007). Les valeurs des coûts et des avantages sont calculées pour 2010 et 2020 et sont exprimées en euros 2010.

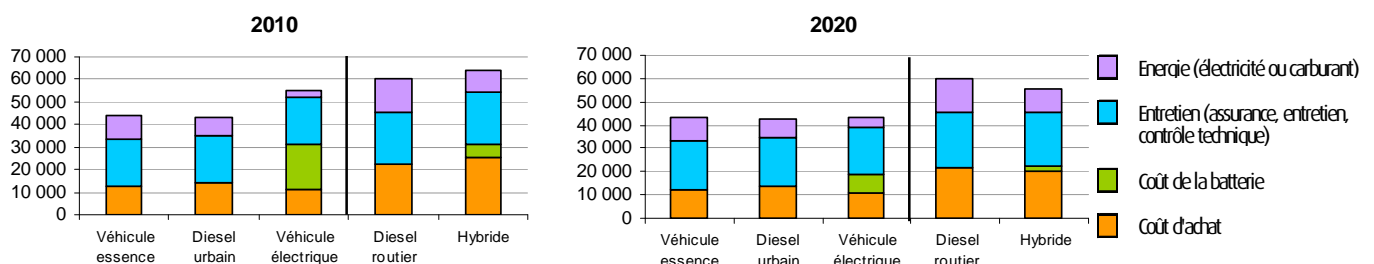
Coût d'opportunité des fonds publics

Le besoin de subventionnement public est pris en compte dans les calculs à travers le coût d'opportunité des fonds publics. Ce coût s'interprète comme le coût collectif pour lever des fonds par prélèvement sur l'activité économique. Il est estimé par les experts à 30 % du montant à financer (rapport Lebègue, 2005). Il est ici appliqué à la fiscalité, manque à gagner lié aux pertes de recettes de TIPP et bonus écologique, et au besoin de financement pour les infrastructures de recharge publique.

Impacts macro-économiques

Les impacts macro-économiques associés, sur la balance commerciale notamment, n'ont pas été évalués dans ce bilan, faute d'un modèle macro-économique et en raison de la complexité des phénomènes en jeu.

Figure 2 : Coûts de possession des véhicules, en 2010 et en 2020 (hors bonus écologique) (€)



Source : données constructeurs, calculs CGDD

Des bénéfiques environnementaux dès 2010...

Dès 2010, l'avantage environnemental (moindres émissions de CO₂, de polluants locaux et de bruit) est important : le remplacement d'un véhicule thermique par un véhicule électrique permet de réduire de moitié le coût environnemental. L'avantage est du même ordre de grandeur pour le tout électrique ou pour l'hybride (figure 3) : il est compris entre 500 € et 2 000 € pour le premier et entre 800 € et 1 700 € pour le second, selon le mode de production électrique.

... toutefois sensibles au mode de production électrique ...

Pour chaque type de véhicule, les valeurs de la fourchette tiennent compte du contenu CO₂ du mode de production électrique : la valeur basse correspond au mix de production français peu émetteur de CO₂ auquel il est recouru en période creuse ; la valeur haute correspond au mix énergétique européen davantage émetteur de CO₂, auquel il est recouru en période de pointe. Le recours au mix européen réduit l'avantage du véhicule électrique en termes d'émission de CO₂.

... en augmentation d'ici 2020

Les avantages environnementaux s'accroissent en 2020, avec une augmentation pouvant aller jusqu'à 300 € dans le cas du véhicule électrique vis-à-vis du véhicule essence. L'amélioration est principalement liée à la valorisation croissante du CO₂ ; elle est comprise entre 200 € et 300 € selon le type de véhicule.

À l'échelle des 2 millions de véhicules du plan gouvernemental, les émissions de CO₂ évitées pourraient ainsi représenter 2 millions de tonnes pour l'année 2020, à comparer avec les 65 Mt CO₂ émises en 2010 par le parc français de véhicules particuliers.

Les gains relatifs au bruit sont assez stables sur la période (entre 300 € et 600 € selon le type de véhicule).

En revanche, les gains liés aux émissions de polluants locaux (oxyde d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, particules) sont en baisse, du fait de l'amélioration prévue des performances techniques des véhicules thermiques (mise en place des filtres à particules pour les véhicules diesel en particulier).

D'autres impacts environnementaux ne sont pas pris en compte

Les émissions de polluants sont calculées pour les étapes de la durée de vie des véhicules pour lesquelles les données sont disponibles : production de carburant ou d'électricité, production des batteries et circulation du véhicule. La construction du véhicule n'a pas été prise en compte, elle est toutefois relativement semblable d'un véhicule à l'autre.

En ce qui concerne les émissions lors de la fabrication des batteries, l'analyse s'est appuyée sur les quelques études existantes mais reste à approfondir, notamment sur la filière émergente des batteries lithium-ion. Les batteries sont supposées recyclées, ou certains éléments réutilisés, en fin de vie, mais les pollutions liées à ce recyclage n'ont pas été considérées. L'extraction des matières premières et des métaux rares constituant les batteries n'est pas non plus prise en compte, les différentes études concluant à des résultats divergents.

D'autres externalités comme le coût d'usage de l'infrastructure routière ou les coûts de l'insécurité routière sont supposées indépendantes du mode de propulsion et n'interviennent donc pas dans un bilan comparatif véhicules thermiques vs. véhicules électriques. Les externalités liées à la production électrique nucléaire nécessaire à la recharge des batteries sont supposées intégrées dans le tarif de l'électricité.

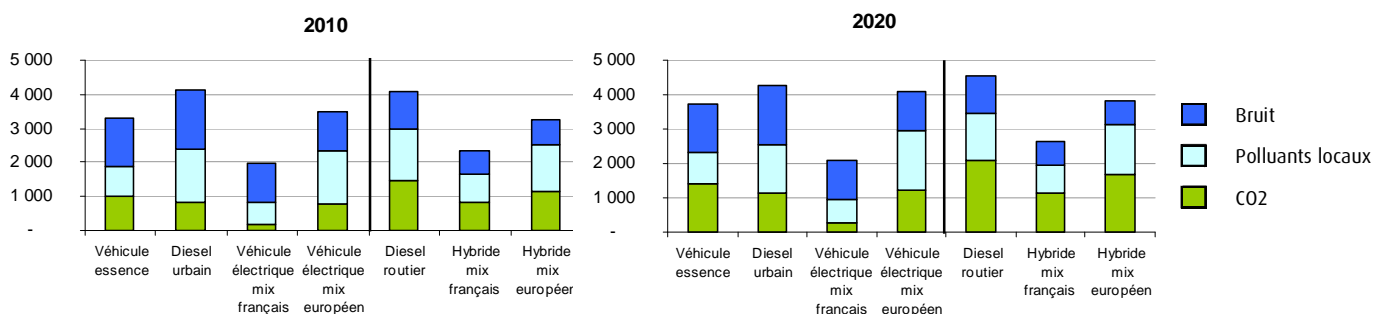
Encadré 2 : L'enjeu crucial de la baisse du coût de la batterie

Le coût de la batterie s'avère l'élément le plus critique pour la filière électrique et la baisse de ce coût est un enjeu déterminant pour la compétitivité à terme du véhicule électrique. Ce coût est de 20 000 € à l'achat d'un véhicule tout électrique en 2010 et de 7 500 € en 2020 (capacité de la batterie de 25 kWh). Pour un véhicule hybride rechargeable, la batterie représente un coût de 6 300 € en 2010 et de 2 300 € en 2020 (capacité de 6 kWh).

La nécessaire mise en place d'un réseau de recharge des véhicules

Le développement de véhicules électriques nécessite le déploiement d'un réseau d'infrastructures de recharge des batteries, qu'il s'agisse de prises privées ou de bornes accessibles au public. Si l'essentiel des bornes sera implanté dans le domaine privé, des bornes publiques en parking ou en voirie offriront une

Figure 3 : Coûts environnementaux des différents types de véhicules en 2010 et 2020 (€)

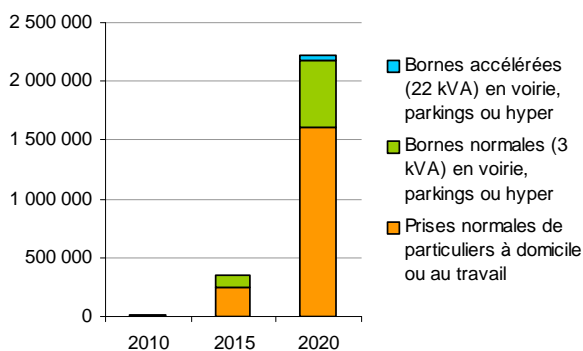


Source : Handbook on estimation of external cost of transportation, CE (2007) ; Rapport « Quinet », CAS (2008) - calculs CGDD

garantie aux utilisateurs et une fiabilité de l'ensemble du système.

Le développement des infrastructures de charge est basé sur un scénario de déploiement de la flotte de véhicules électriques et d'un nombre de points de charge affectés à chaque véhicule. Un point de charge principal est affecté à tout véhicule pour une recharge quotidienne, en période de base de la production électrique, et quelques points de charges secondaires et partagés sont disponibles avec des charges « normales », des charges « accélérées » et quelques bornes « rapides ». Les prises ou bornes dites normales permettent une recharge complète d'une batterie de 25 kWh en 8 heures ; les bornes accélérées permettent une charge en moins de 2 heures et les bornes rapides en moins d'une heure. Au total, le scénario retient 1,1 point de charge disponible par véhicule décarboné (figure 4).

Figure 4 : Scénario de développement d'infrastructures de recharge en 2015 et 2020 (nombre de bornes)



Source : calculs CGDD, d'après les travaux du groupe de travail « Livre vert » sur les infrastructures de recharge

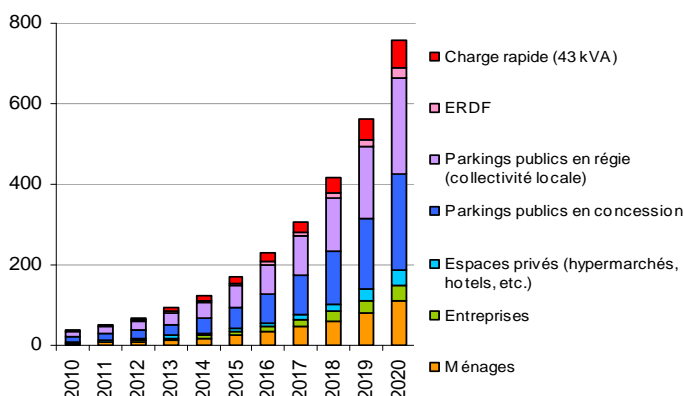
Des bornes publiques plus coûteuses

De 2010 à 2020, le coût global cumulé des infrastructures est de 2,8 milliards d'euros (Md €). Les coûts des infrastructures incluent le coût d'investissement, le coût de génie civil, le coût de raccordement au réseau et les frais de maintenance et de renouvellement. Une baisse du coût d'investissement de 5 % par an est envisagée.

Bien que les bornes publiques représentent 30 % de l'ensemble, elles pèsent pour 70 % du coût total, soit 1,8 Md €. Le coût d'investissement est plus élevé (5 000 € pour une borne de charge normale en voirie) et l'utilisation collective des bornes implique des besoins en maintenance et en renouvellement plus importants. Le coût de raccordement à la charge

d'ERDF (filiale d'EDF gestionnaire du réseau de distribution électrique) s'élève à 90 M€, hors renforcement important du réseau (figure 5).

Figure 5 : Coût annuel de développement d'infrastructures de recharge de 2010 à 2020 (en M€)



Source : calculs CGDD

Des charges rapides très onéreuses

Malgré le faible nombre de bornes mises en place dans le scénario, la charge rapide représente un coût particulièrement élevé (250 M€ sur la période 2010-2020, soit un coût unitaire de 0,2 c€/véh.km en 2010 et de 0,1 c€ en 2020). Les stations de recharge rapide, au vu de leurs coûts et des contraintes techniques, pourraient être déployées dans un premier temps à titre expérimental.

La nécessité d'optimiser le déploiement et la charge

Compte tenu de la différence des coûts d'infrastructures selon le type d'implantation ou de charge, le déploiement des infrastructures devrait suivre le marché des véhicules électriques, avec un déploiement majoritaire « à domicile » ou en entreprises pour un usage privatif et un développement parallèle plus progressif dans les parkings publics en charge normale ou accélérée.

De plus, la variabilité des émissions évitées selon le mix énergétique souligne l'importance d'une optimisation de la charge des véhicules électriques, qui doit se faire préférentiellement en période de base (la nuit) et doit être limitée en période de pic de consommation (en fin de journée). La charge normale dégageant les bénéfices environnementaux les plus élevés, un signal tarifaire incitatif serait utile pour favoriser l'optimisation de la charge.

Références :

- Lebègue D., Commissariat Général du Plan (2005), *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*.
- Quinet A., Centre d'Analyse Stratégique (2008), *La valeur tutélaire du carbone*.
- Commission Européenne (2007), *Handbook on estimation of external cost in transport sector*.

Pour en savoir plus :

Cette étude a été réalisée par **Pierre-Marie Assimon, Stéphanie Depoorter et Olivier Teissier** tél. 01 40 81 16 58. L'étude complète « Les véhicules décarbonés en perspective – Analyse coûts-avantages et demande potentielle » est disponible sur le site www.developpement-durable.gouv.fr/ Publications, collection « Etudes et documents ».

le point sur

Commissariat général
au développement
durable

Service de l'économie,
de l'évaluation et de
l'intégration du
développement durable
Tour Voltaire
92055 La Défense cedex
Tel. : 01.40.81.21.22

Directrice de la
publication
Françoise Maurel

Rédactrice en chef
Laurence Demeulenaere

ISSN
2100-1634

Dépôt légal
Mai 2011