

## Policy Paper

# Quelle politique pour encourager le déploiement des véhicules à hydrogène en France ?

Guy Meunier<sup>1</sup> et Jean-Pierre Ponsard<sup>2</sup>

Septembre 2018

---

<sup>1</sup> INRA Aliss and CREST, Ecole Polytechnique, Research Associate Chair Energy & Prosperity.

<sup>2</sup> CNRS and CREST, Ecole Polytechnique, Co-director Chair Energy & Prosperity.

## **La Chaire Energie et Prospérité**

La chaire Energie et Prospérité a été créée en 2015 pour éclairer les décisions des acteurs publics et privés dans le pilotage de la transition énergétique. Les travaux de recherche conduits s'attachent aux impacts de la transition énergétique sur les économies (croissance, emploi, dette), sur les secteurs d'activité (transport, construction, production d'énergie, finance) et aux modes de financement associés. Hébergée par la Fondation du Risque, la chaire bénéficie du soutien de l'ADEME, d'Air Liquide, de l'Agence Française de Développement, de la Caisse des Dépôts, de Mirova, de Schneider Electric et de la SNCF.

*Les opinions exprimées dans ce papier sont celles de son (ses) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de la Chaire Energie et Prospérité. Ce document est publié sous l'entière responsabilité de son (ses) auteur(s).*

Les Policy paper de la Chaire Energie et Prospérité sont téléchargeables ici :

<http://www.chair-energy-prosperity.org/category/publications/>

# Quelle politique pour encourager le déploiement des véhicules à hydrogène en France ?

Septembre 2018

## Messages clés

- La transition vers une mobilité propre obéit à deux impératifs : la lutte contre le changement climatique au niveau global, la lutte contre les pollutions urbaines source de morts prématurés et d'infections respiratoires multiples au niveau régional.
- L'expérience Norvégienne en matière de mobilité propre, pays le plus avancé en la matière, met en évidence plusieurs facteurs clés de succès : l'importance d'une prise de conscience sociale des enjeux par une politique publique impliquant de larges subventions ; les risques d'un déploiement national trop volontariste en l'absence d'une base technologique et industrielle forte ; la dépendance aux stratégies internationales des constructeurs de véhicules.
- L'analyse critique de cette expérience permet de jeter les bases d'un modèle économique de déploiement optimal comprenant trois phases : décollage, expansion et croisière avec des politiques de soutien adaptées à chaque phase.
- Le déploiement des véhicules à hydrogène se situe dans le monde et notamment en France dans une phase de décollage alors que les véhicules électriques à batterie sont dans une phase d'expansion. Des politiques différentes doivent être mises en œuvre.
- Le plan pour le déploiement de l'hydrogène proposé par Nicolas Hulot en juin 2018 peut être relu à la lumière de cette réflexion. Trois recommandations se dégagent de cette relecture : (i) au-delà des utilitaires légers et des flottes de taxis, mettre l'accent sur les bus, camions, bateaux, locomotives là où l'hydrogène dispose dès aujourd'hui d'un avantage compétitif par rapport à l'usage de batterie ; (ii) consolider les projets pilotes, encourager leur multiplication au niveau européen grâce à une coordination entre les grandes métropoles, l'interconnexion entre ces zones ne pouvant être efficace que dans un second temps ; (iii) encourager la R&D et les investissements pour la production d'hydrogène décarbonée, mais en utilisant un prix de référence du CO<sub>2</sub> dans les analyses coût-bénéfice allant bien au-delà de la valeur proposée de 20 €/tCO<sub>2</sub> de manière à tirer parti des effets d'expérience et de la diffusion de l'innovation.

# 1. Les enjeux de la transition vers une mobilité propre

Les émissions de CO<sub>2</sub> dues au transport dans l'EU28 représentent approximativement 26 % des émissions totales en 2013. Depuis 1990, celles dues au transport routier augmentent alors que celles provenant des autres secteurs (secteur énergétique, industrie manufacturière, bâtiment ...) diminuent (I4CE, 2017). Cette croissance est due à l'augmentation de la demande de transport du fait d'une urbanisation en hausse et d'un niveau de vie plus élevé. Les émissions du secteur des transports proviennent pour 75% des transports routiers. Selon un rapport de l'Agence Internationale pour l'Energie, le nombre de véhicules va doubler d'ici à 2050 (IEA-International Energy Outlook report, Feb 2013).

Le secteur du transport a aussi un impact local et régional. Un rapport de l'OCDE chiffre à plus de 3 millions les morts prématurés du fait d'un taux excessif de particules fines (PM 2.5) et d'ozone dans les grandes métropoles (OCDE, 2014). Ces taux élevés proviennent principalement des transports.

Dans ces conditions la transition vers une mobilité propre constitue un enjeu majeur pour les pouvoirs publics tant au niveau régional, national qu'international. Les options disponibles pour cette transition sont : une réduction de la demande de transport, un report vers des modes moins émetteurs (rail, fluvial, vélo...), et le déploiement de véhicules électriques (batterie ou hydrogène).

L'objectif de cette note est de montrer comment les travaux menés dans le cadre de la chaire Energie et Prospérité peuvent éclairer cette réflexion.<sup>3</sup> On s'intéresse plus particulièrement au rôle des véhicules à hydrogène et à la politique proposée en la matière par le plan Hulot.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Ces travaux sont rassemblés dans l'initiative de recherche mobilité durable et téléchargeables sur le site de la chaire <http://www.chair-energy-prosperity.org/chercheurs-associes/initiative-de-recherche-mobilite-durable-2/>

<sup>4</sup> Nicolas Hulot, ministre d'Etat, ministre de la Transition écologique, a annoncé un plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique le 1er juin 2018. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-hydrogene-outil-davenir-transition-energetique>

## 2. Que nous apprend l'expérience norvégienne

### ***L'expérience norvégienne<sup>5</sup>***

En 2016, en Norvège, la part des immatriculations de véhicules neufs de BEVs et PHEVs (véhicules électriques à batterie et véhicules hybrides) a dépassé 50%. La transition vers une mobilité propre fut cependant loin d'être un long fleuve tranquille. Lancée à la fin des années 1980, elle n'a vraiment pris forme qu'à partir de 2013.

#### ✓ ***Les différentes phases du déploiement :***

- 1990-2000 lancement de projets pilotes au niveau national

Plusieurs tentatives d'introduction de BEV dans les grandes agglomérations (principalement Oslo et Stavanger) sont lancées conjointement par des constructeurs étrangers (le danois Kewet, les français Peugeot et Citroën) et des producteurs ou distributeurs nationaux d'électricité. Les soutiens publics prennent la forme d'une exemption de la taxe d'enregistrement (100% sur les véhicules importées), de la gratuité pour les ferrys et les parkings urbains.

En dépit d'un encouragement ponctuel lors des Jeux Olympiques d'hiver en 1994, les ventes sont décevantes, en raison de problèmes de qualité pour les véhicules, d'un manque de fiabilité des batteries, d'absence de réseau commercial...

- 1999-2002 une tentative d'expansion qui se traduit par un échec

Ford et Kewet créent une filiale commune en Norvège et espèrent s'appuyer sur des flottes captives (municipalités, service postal, flottes d'entreprises ...). Le gouvernement introduit une nouvelle exemption qui concerne cette fois la TVA (24%).

Les ventes continuent à stagner, Ford se retire, Peugeot abandonne la production de BEV.

- 2003-2009 tenir bon en dépit des difficultés

Le gouvernement reste favorable à la mobilité propre. Il autorise les BEV à circuler dans les couloirs réservés aux lignes de bus, le tarif des péages pour les véhicules à énergie fossile sont augmentés. Des lobbies de consommateurs se mettent en place pour préserver les incitations pour les BEV. Mais la demande ne décolle toujours pas.

- 2010-2016 décollage et expansion de la transition

Suite à la crise économique de 2008/2009, un plan national de relance se met en place. Il permet notamment de subventionner l'installation de bornes de recharge en ville. Ce plan global de relance est suivi en 2011 par un programme spécifique pour l'installation de stations de recharge rapide tous les 50 km sur les principaux axes inter-régionaux. De nombreuses

---

<sup>5</sup> Cette analyse du cas norvégien s'appuie principalement sur Figenbaum, 2017.

entreprises de distribution (Mc Donald, Ikea...) mettent en place sur leurs fonds propres des bornes dans leurs sites commerciaux.

La prise de conscience sociale des enjeux débouche sur un plan national pour la mobilité propre en 2012. Des objectifs globaux pour les émissions en CO2 des véhicules sont affichés. Ces objectifs impliquent un taux de pénétration des BEVs et PHEVs de l'ordre de 20 à 30%. Les autorités norvégiennes s'engagent sur le maintien de la politique de soutien jusqu'en 2017.

Parallèlement, l'offre de véhicules de BEV se multiplie avec l'arrivée de nouveaux modèles : Renault Zoé, Nissan Leaf, VW E-Golf, Tesla Model S... Les ventes privées augmentent enfin, débordant des centres villes vers les zones périphériques. Alors que l'essentiel des ventes concernaient jusqu'à présent une deuxième voiture pour les ménages aisés avec recharge à domicile elles touchent maintenant une plus grande part de la population pour des trajets longue distance.

### ✓ **Les facteurs clés**

Les facteurs suivants apparaissent comme ayant joué un rôle déterminant dans le succès de la transition vers une mobilité propre en Norvège :

- Une politique publique multi-instruments adaptative mais menée avec détermination, le prix du carbone n'est pas un facteur majeur dans cette politique (31 €/t CO2 en 2016 d'après I4CE) ;<sup>6</sup>
- Une prise de conscience sociale qui assure l'acceptabilité des changements ;
- L'importance de soutiens publics à la fois au déploiement des véhicules et de l'infrastructure ;
- Les risques d'un déploiement national trop volontariste en l'absence d'une base technologique et industrielle forte pour le soutenir ;
- Inversement, la dépendance au contexte international avec notamment l'arrivée des nouveaux modèles et la concurrence qui en résulte.

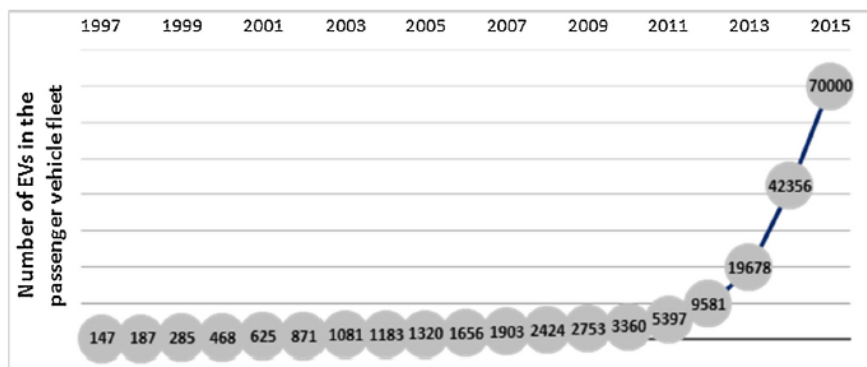


Fig. 4. Passenger BEV fleet in Norway, 2015 preliminary ±1%; source: Asphjell et al. (2013) and OFVAS (2016).

<sup>6</sup> Voir [https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2017/10/Global-panorama-carbon-prices-2017\\_5p\\_Final-version.pdf](https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2017/10/Global-panorama-carbon-prices-2017_5p_Final-version.pdf)

### 3. Vers une grille d'analyse pour formuler les politiques de soutien à la mobilité propre<sup>7</sup>

L'étude de l'exemple norvégien complété par d'autres études de cas<sup>8</sup> permet d'organiser la réflexion pour formuler les bases d'une politique de soutien à la transition vers une mobilité propre. Les recommandations sont présentées sous la forme d'une trajectoire type décomposée en trois phases : décollage, montée en puissance et croisière. Pour chaque configuration, nous identifions les caractéristiques structurelles correspondantes et la politique de soutien la plus adaptée.

Phase du déploiement	Décollage	Montée en puissance	Croisière
<b>Caractéristiques structurelles</b>	<p>Risques technologiques et commerciaux importants ne permettant pas une rentabilité suffisante pour les quelques entreprises susceptibles de s'engager.</p> <p>Demande privée inexistante face à des prix trop élevés et une offre parcellaire.</p>	<p>Les risques technologiques sont maîtrisés mais les risques commerciaux subsistent.</p> <p>Plusieurs pôles se développent grâce aux projets pilotes qui ont besoin d'être confortés.</p> <p>Une demande privée commence à émerger.</p>	<p>Il existe de nombreuses entreprises sur le marché s'appuyant sur différentes technologies (BEV, PHEV, FCEV...) et offrant des modes de transport complémentaires (véhicules à usage privé, transport collectifs, véhicules partagés...).</p> <p>La concurrence permet (permettra ?) d'atteindre l'optimum social dans un cadre régulé.</p>
<b>Politiques de soutien</b>	<p>Encourager la R&amp;D, subventionner les projets pilotes impliquant des flottes captives, des constructeurs et des fournisseurs d'énergie pour amorcer les effets d'apprentissage.</p> <p>Subventionner largement les infrastructures dans les zones correspondantes.</p> <p>Contribuer à la prise de conscience sociale : plan national et dans les grandes villes sur la mobilité propre, mise en</p>	<p>Maintien de la politique de soutien financier par des subventions aux infrastructures et sous forme de rabais à l'achat de véhicules. Utilisation des avances remboursables pour limiter le coût de ces subventions.</p> <p>Ouverture à la concurrence dans les projets pilotes, notamment pour faciliter l'entrée de nouveaux constructeurs.</p>	<p>Contribuer à l'émergence des technologies et des modes de transport par des politiques différenciées.</p> <p>Sortir progressivement des politiques de soutien financier.</p> <p>Mettre en place une régulation globale des transports pour l'usage des espaces publics et l'exploitation des données correspondantes.</p>

<sup>7</sup> Cette section tire parti des développements théoriques développés dans Meunier-Ponssard (2018a). Le modèle économique sous-jacent est résumé dans l'encadré 1 à la fin de cette note.

<sup>8</sup> Voir Brunet et al. 2015.

	<p>place de moyens correspondants (financement, fiscalité verte, restrictions de circulation).</p> <p>Encouragement à la coordination entre zones de déploiement pour maximiser les effets d'expérience et la diffusion des innovations.</p>	<p>Soutien actif aux infrastructures entre zones de déploiement.</p> <p>Identification du coût des externalités associées aux différents modes de transport et mise au point d'une fiscalité verte visant à l'internalisation de ces coûts dans les décisions privés.</p>	
--	--	---	--

## 4. Le plan Hulot pour l'hydrogène revisité

En juin 2018, Nicolas Hulot a mis en place un plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique. Ceci offre une opportunité pour juger de la pertinence de notre grille d'analyse :

- Quelles sont les caractéristiques structurelles actuelles de ce secteur en France ?
- Comment se situe le plan Hulot vis-à-vis des recommandations formulées dans notre analyse théorique ?

### ***La France se situe actuellement dans une phase de décollage***

Les modèles de véhicules à pile à hydrogène sont encore peu nombreux sur le marché et les prix sont élevés. Les quelques constructeurs commercialisant ces véhicules sont essentiellement japonais et coréens (Toyota, Hyundai et Honda).<sup>9</sup> Pour aboutir à un niveau de coût concurrentiel, des avancées techniques sont encore nécessaires sur la performance et la durabilité de la pile en tant que telle, la production d'un réservoir à hydrogène à haute pression, la production et le stockage en grande quantité d'hydrogène non carbonée.

De fait, le niveau de pénétration des FCEV au niveau mondial est encore très faible. En 2017, elle est de 3000 unités au Japon et de 5000 unités en Californie.<sup>10</sup> En France, la demande privée est quasi-inexistante. On peut cependant mentionner trois projets pilotes : (i) la société parisienne de taxis Hype, qui s'appuie sur une flotte de 70 véhicules Hyundai en 2017 (complétée par des véhicules Toyota en 2018), l'objectif affiché est d'atteindre une flotte de 600 véhicules en 2020, (ii) le projet, lancé en 2015, par la Région Normandie qui visait de manière optimiste le déploiement de 250 véhicules et de 15 stations à l'horizon 2018, essentiellement à partir de flottes captives de Renault Kangoo électrique avec prolongateur

<sup>9</sup> Des entreprises comme General Motors et Daimler avaient développé des prototypes dans les années 1990, mais elles avaient rencontré des difficultés à les commercialiser.

<sup>10</sup> Fargère, 2018.



d'autonomie, (iii) un projet similaire, lancé en 2017, par la Région Auvergne, Rhône-Alpes visant 20 stations et 1000 véhicules à l'horizon 2019-2021.

On peut noter le retard des constructeurs européens sur cette technologie. En France, il semble que Renault mise surtout sur les BEV, tandis que Peugeot cherche à rattraper son retard. L'Allemagne a mis en place un plan national pour l'installation de 400 stations de recharge à l'horizon 2023, mais Mercedes et BMW tardent à se lancer sur le marché.<sup>11</sup>

Cette situation du côté des constructeurs européens contraste avec l'engagement affiché de certaines grandes entreprises françaises pour l'hydrogène : Air Liquide, Engie, Michelin, Safran... et l'existence de quelques start-ups comme Safra pour les bus et Symbio pour le Kangoo.

### ***La politique de soutien doit être adaptée à cette phase de décollage***

Alors que le déploiement des BEV dans de nombreux pays peut à juste titre être considéré comme relevant d'une phase de montée en puissance (voire de croisière en Norvège), le risque le plus important pour les FCEV serait sans doute de vouloir brûler les étapes en prônant la même politique que pour les BEV (pour cette technologie, encourager la concurrence entre constructeurs constitue le meilleur levier à privilégier ; les aides à l'infrastructure pour les stations de recharge et surtout celles pour l'achat de véhicules devront être progressivement baissées en dépit des pressions pour les maintenir).

Le stade actuel des FCEV suggère au contraire de consolider les projets pilotes par des actions spécifiques. A ce titre, on peut considérer que la multiplication progressive de ces projets dans diverses zones géographiques offre le meilleur levier pour développer les effets d'apprentissage et les économies d'échelle. Deux difficultés sont à surmonter à cet égard :

- Pour obtenir un volume d'hydrogène significatif, garant d'un développement d'une filière de production d'hydrogène vert, outre les véhicules utilitaires légers, il apparaît judicieux de miser aussi sur d'autres usages comme les bus, camions,<sup>12</sup> voire les bateaux ou les trains plutôt que sur les véhicules individuels qui resteront à un prix élevé accessible uniquement à un segment de population vis-à-vis duquel l'octroi de subventions est socialement injuste ;<sup>13</sup> c'est une condition nécessaire pour la réalisation de l'axe 1 du plan Hulot ;
- la multiplication des zones de déploiement devrait se faire au niveau européen pour atteindre un volume suffisant susceptible d'engendrer des économies d'échelle chez les constructeurs. Le plan Hulot met l'accent sur l'interconnexion des grandes agglomérations en France par la mise en place de stations le long des grands axes de circulation. Cet objectif est clairement prématuré à ce stade. Il serait plus opportun de

---

<sup>11</sup> Mercedes lance un véhicule à hydrogène en Septembre 2018: le GCL Fuell cell.

<sup>12</sup> On pourrait par exemple s'inspirer de la démarche adoptée par l'Ademe pour le déploiement des camions au GNV (Lelarge, 2018).

<sup>13</sup> Voir le débat en Californie [https://www.greencarreports.com/news/1098988\\_california-ends-electric-car-rebates-for-wealthiest-buyers-boosts-them-for-poorest](https://www.greencarreports.com/news/1098988_california-ends-electric-car-rebates-for-wealthiest-buyers-boosts-them-for-poorest)

s'appuyer sur les grandes métropoles européennes et d'imaginer comment une initiative nationale comme le plan Hulot pourrait contribuer à cet effort de coordination au niveau international. Il s'agirait, par exemple, de développer des approches communes en vue de décarboner les transports collectifs (y compris les taxis) et les transports utilitaires de marchandises en prenant appui sur des politiques plus contraignantes dans différentes métropoles ;

- l'utilisation des avances remboursables pourrait s'avérer judicieuse pour favoriser le déploiement des infrastructures en garantissant un revenu à l'opérateur pendant la phase de montée en puissance des ventes d'hydrogène, avec un remboursement sur les profits réalisés au-delà.<sup>14</sup>

Il existe à ce jour trois projets pilotes en France. Le projet EasHyMob en Normandie, le projet Zero Emission Valley en Auvergne-Rhône-Alpes et le projet Hype en région Parisienne (voir encadré 2).

Le plan Hulot porte par ailleurs sur l'encouragement à la R&D (axe 1). Il s'agirait là d'une mesure particulièrement bienvenue compte tenu des risques technologiques qui restent à surmonter. Là encore, l'usage des avances remboursables pourrait être justement encouragé comme levier initial permettant de déclencher des financements privés lorsque les incertitudes seront levées. La faible compétence des institutions bancaires face à cette incertitude explique l'absence d'un marché financier efficace dans des secteurs importants de la transition énergétique.

On peut ainsi s'étonner qu'un prix maximal du CO<sub>2</sub> de 20 €/t (qui correspond à la valeur actuelle du prix tutélaire du CO<sub>2</sub>) soit proposé pour les analyses coût-bénéfice destinées à justifier le soutien aux investissements nécessaires à la production d'hydrogène décarboné (principalement par électrolyse décentralisé).<sup>15</sup> Si l'objectif recherché est de susciter une baisse significative des coûts grâce aux effets d'échelles, on pourrait plutôt partir du raisonnement suivant :<sup>16</sup>

- s'interroger au préalable sur la trajectoire qui permettrait d'atteindre la parité compte tenu du niveau de production cumulée et d'une estimation de l'effet d'expérience ; le coût d'un kg d'hydrogène produit par électrolyse est estimé entre 4 à 6 € aujourd'hui, alors qu'il est estimé entre 2 et 3 € par SMR (*Steam Methane Reformer*) ;<sup>17</sup>
- à supposer que la trajectoire pour atteindre la parité soit de 10 ans, l'analyse coût-bénéfice de cette trajectoire permet d'en déduire un prix du CO<sub>2</sub> qui justifie le

---

<sup>14</sup> Ce type de financement a l'avantage d'encourager les industriels à lancer des programmes risqués non rentables sur fonds propres tout en limitant les effets d'aubaine, c'est-à-dire l'attribution de subventions à des projets intrinsèquement rentables. C'est l'asymétrie d'information inévitable entre les entreprises et l'opérateur sur les perspectives de succès et les retombées commerciales d'un projet qui suggère fortement le recours à un tel mécanisme contractuel plutôt que l'usage de simples subventions. L'analyse économique des avances remboursables a fait l'objet d'une publication dans la *Revue de l'Energie* (Meunier-Ponssard, 2018b). La réflexion se poursuit à travers des stages de Master copilotés avec l'Ademe.

<sup>15</sup> Voir le plan Hulot page 11.

<sup>16</sup> Ce raisonnement s'appuie sur l'article publié dans *Environmental and Resource Economics* (Creti et al., 2017).

<sup>17</sup> Voir plan Hulot pour le déploiement de l'hydrogène opus cité page 5.

lancement de cette trajectoire en 2018, disons 50 €/tCO<sub>2</sub> ; c'est le coût dynamique d'abattement par opposition au coût d'abattement statique obtenu pour un seul équipement produit en 2015 ; le coût statique est notoirement plus élevé car il ne tient pas compte des effets de la réduction des coûts futurs ; un calcul de coin de table pour un électrolyseur montre que ce coût statique serait de l'ordre de 200 à 300 €/tCO<sub>2</sub> ;<sup>18</sup>

- le plan Hulot se fixe un objectif de parité en 2028 pour un coût de 2 à 3 €/H<sub>2</sub> mais, en même temps, fixe un prix plafond pour valoriser les économies de CO<sub>2</sub> à 20€/tCO<sub>2</sub> ;
- dans ces conditions, il y a une incohérence : soit le prix du CO<sub>2</sub> dans les analyses coût bénéfice est revu à la hausse, à 50 €/tCO<sub>2</sub> dans notre calcul, ou bien l'objectif de 10 ans pour atteindre la parité est irréaliste.

En résumé, l'analyse coût bénéfice ne doit pas se faire sur chaque investissement pris individuellement. Cette analyse doit être menée sur l'ensemble d'un programme d'investissements en introduisant les effets d'expérience. A terme, les effets d'expérience se réduiront et on peut penser que la fiscalité verte sera internalisée dans le prix d'un kilo d'hydrogène carboné (produit par reformage à partir d'hydrocarbures). A cet horizon, la nécessité d'un soutien public aura disparu.

Le plan Hulot fait état de la mise en place d'un groupe de travail pour favoriser la coordination entre les financements publics et privés, et notamment faire en sorte que le financement public serve de levier au financement privé. Comme le montre cette note, un premier retour d'expérience serait sans doute le bienvenu.

---

<sup>18</sup> L'intensité carbone d'un kg d'hydrogène produit par SMR est de 9.78 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> un écart de coût de production de 2 €/kg correspond à un coût d'abattement de  $2/9,78 = .200$  €/kg soit environ 200 €/tCo<sub>2</sub>, et à 300 pour un écart de coût de 3€/kgH<sub>2</sub>.

## Références

I4CE (2017). Les chiffres clés du climat. [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits\\_editoriaux/Publications/Datalab/2016/chiffres-cles-du-climat-edition2017-2016-12-05-fr.pdf](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2016/chiffres-cles-du-climat-edition2017-2016-12-05-fr.pdf)

Figenbaum, E. (2017). Perspectives on Norway's supercharged electric vehicle policy, *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 25, 14-34.

IEA (2017). Global EV outlook 2017. Two million and counting. URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>

OECD (2014). The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution. URL: <http://www.oecd.org/env/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-9789264257474-en.htm>

Brunet, J., Kotelnikova, A. and Ponsard, J.-P. (2015). The deployment of BEV and FCEV in 2015, Technical report, <https://hal-polytechnique.archives-ouvertes.fr/hal-01212353>

Brunet, J. and Ponsard, J.-P. (2017). Policies and deployment for Fuel Cell Electric Vehicles an assessment of the Normandy project, *International Journal of Hydrogen Energy* **42-7**: 4276-4284.

Creti, A., Kotelnikova, A., Meunier, G. and Ponsard, J.-P. (2017). Defining the Abatement Cost in Presence of Learning-by-doing: Application to the Fuel Cell Electric Vehicle. *Environ Resource Econ.* 1-24.

Fargère, A. (2018). FCEV Growing momentum and challenges of mass market deployment. Communication au séminaire thématique organisé par la chaire Energie et Prospérité le 23 mars.

Lelarge, A. (2018). Retours d'expérience d'un opérateur de financement public. Communication au séminaire thématique organisé par la chaire Energie et Prospérité le 23 mars.

Meunier, G. and Ponsard, J.-P (2018a). Pour un financement conditionnel des projets risqués bas carbone, in *Revue de l'Energie*, janv-fév., 19-31.

Meunier, G. and Ponsard, J.-P (2018b). Optimal Policy and Network Effects for the Deployment of Zero Emission Vehicles, CESifo working paper, [https://www.cesifo-group.de/ifoHome/publications/docbase/DocBase\\_Content/WP/WP-CESifo\\_Working\\_Papers/wp-cesifo-2018/wp-cesifo-2018-04/12012018007026.html](https://www.cesifo-group.de/ifoHome/publications/docbase/DocBase_Content/WP/WP-CESifo_Working_Papers/wp-cesifo-2018/wp-cesifo-2018-04/12012018007026.html)

# Encadré 1 : le modèle économique

## Cadre général

-Le modèle formulé en termes d'équilibre partiel statique avec des consommateurs, des constructeurs de véhicules en concurrence imparfaite à la Cournot (chaque constructeur produit  $X_i$  véhicules, pas de différenciation de produits, offre totale  $X$ ), des opérateurs de station (une seule par opérateur) en concurrence parfaite avec libre entrée ( $K$  nombre total de stations),

-Le marché de l'énergie est concurrentiel, chaque consommateur achète un véhicule et l'utilise en faisant le plein d'énergie aux stations existantes, il paie le prix de l'énergie plus une marge couvrant les coûts de la station.

-Externalités :

- liées à l'effet sur l'environnement global et local (CO2, particules fines...), noté  $\alpha$
- de réseau (complémentarité entre véhicules et réseau d'infrastructure), noté  $\beta$
- de production de véhicules (effets d'expérience et transferts de connaissances), noté  $g$
- de pouvoir de marché des constructeurs, noté  $m$

-Questions traitées :

- Comparer l'équilibre de marché avec l'optimum social
- Définir les politiques publiques permettant d'obtenir l'optimal social comme un équilibre de marché

NB : Les unités sont redéfinies pour qu'un véhicule consomme une unité d'énergie par unité de temps ;  $X$  véhicules consomment donc  $X$  quantités d'énergie, le coût direct correspondant à l'énergie consommée n'intervient pas dans le modèle mais la marge prise par les opérateurs intervient. Les véhicules propres sont supposés se substituer à des véhicules émetteurs (qui ne sont pas explicitement modélisés ici) ce qui crée un gain externe positif de  $\alpha$  par véhicule.

## Hypothèses

- Surplus brut du consommateur  
 $S(X,K) = (a-bX/2)X - \beta X/K$ 
  - $a$  représente la propension à payer
  - $b$  représente l'élasticité au prix
- Fonction de coût des véhicules  
 $C_V(X_i) = (c^0 - gX)X_i$ 
  - Le coût marginal diminue en fonction de la quantité totale produite
- Fonction de coût d'une station  
 $C_K(x) = f + c_F x^2/2$ 
  - $x$  est la quantité livrée par la station ( $=X/K$ ),
  - $f$  est un coût fixe
  - la taille optimale d'une station minimise le coût moyen  $x_m = (2f/c_F)^{1/2}$
- Fonction de surplus social  $W(X,K) = S(X,K) - C_V(X_i) - C_K(x) + \alpha X$

## Résultats

-Selon la valeur des paramètres on a

- Un seul équilibre de marché en  $(0,0)$
- Trois équilibres de marché en  $(0,0)$ ,  $(X^E_-, K^E_-)$ ,  $(X^E_+, K^E_+)$
- L'équilibre  $(X^E_-, K^E_-)$  est instable, c'est un point de bascule (*tipping point*) vers  $(0,0)$  ou  $(X^E_+, K^E_+)$

-Lorsque l'optimum social  $(X^*, K^*)$  est positif et suffisamment élevé il est possible de l'atteindre sous la forme d'un équilibre de marché avec la politique suivante

- Prime accordée à l'achat d'un véhicule :  $s_V = \alpha + bX^*/m + gX^*(m-1)/m$
- Subvention accordée à chaque opérateur de station :  $s_K = \beta X^*/K^{*2}$

-Lorsque l'optimum social  $(X^*, K^*)$  est positif mais peu élevé il est préférable de l'atteindre en suscitant une *joint venture* entre un constructeur de véhicules et les opérateurs de stations et en offrant uniquement des primes à l'achat de véhicules

- Prime accordée à l'achat d'un véhicule :  $s_V = \alpha X^* + bX^*$

## Encadré 2 : trois projets de déploiement en France

Le **projet EasHyMob** est issu d'un appel à projet de l'Union Européenne (European Innovation and Networks Executive Agency) remontant à 2014 pour un démarrage en Janvier 2016. Le plan de 2016 prévoyait 15 stations et 250 véhicules à l'horizon fin 2018. La subvention s'élevait à 50% d'un budget de 5 M€ destiné à financer le déploiement des stations (les véhicules bénéficiant de la prime générale accordée à l'époque, soit 6000 €). A cette subvention européenne s'est ajoutée une subvention régionale de 20% sur l'infrastructure et de 7000 € sur les véhicules hydrogène. Une analyse coût-bénéfice de ce plan réalisé en 2016 mettait en évidence deux faiblesses majeures.<sup>19</sup>

Tout d'abord, le déploiement se focalise sur des véhicules utilitaires légers, principalement la Kangoo électrique avec prolongateur d'hydrogène. Ceci permet de passer d'une autonomie de 180 à 300 km, ce qui est bien adapté à des flottes captives. Par contre, en l'absence de déploiement d'autres véhicules, le volume d'hydrogène demandé est faible et le réseau de distribution sera très coûteux. Ensuite, la subvention s'adresse à une entité publique ou majoritairement publique. Ce qui pose plusieurs problèmes : celui de la situation financière difficile des collectivités, leurs lenteurs administratives et le fait qu'elles aient moins de vision business à long terme qu'une entreprise. Ainsi, l'objectif a été de diminuer au maximum de prix de l'infrastructure déployée et donc de s'orienter vers des stations de capacités faibles (20 à 50

kg/jour) à 350 bar. Ces stations, si elles permettent d'installer un premier réseau de distribution étendue, ne seront pas rentables du fait de leur taille et leur incapacité à recharger des véhicules de tourisme pour lesquels la pression standard est 700 bar. Ce projet met en évidence le fait que la subvention devrait plutôt être utilisée pour « appeler » un investissement privé pour équilibrer un modèle économique dans lequel on a un retour sur investissement compatible avec le secteur financier. Le projet EasHyMob devrait pour autant se réaliser avec une année de retard et a servi de modèle au projet Zero Emission Valley explicité plus bas.

Le **projet Zero Emission Valley** a été lancé en 2017. Comme le projet EasHyMob il met aussi l'accent sur le déploiement de flottes captives pour assurer son décollage. Trois différences sont notables. Il bénéficie de l'appui direct d'industriels comme Engie et Michelin, qui assureront l'investissement et l'exploitation des stations. Les stations déployées sont à double pression (350 et 700 bar) et compatibles avec des véhicules lourds comme des bus ou des camions. Il est alors imaginable qu'une forte consommation d'hydrogène permette d'atteindre rapidement un retour sur investissement compatible avec le secteur financier. Pour minimiser le risque pris par l'industriel qui investit sur la station, un modèle d'avance remboursable par un groupement publique ou privé est actuellement à l'étude. Ce modèle permet d'appeler un financement industriel

---

<sup>19</sup> Voir Brunet and Ponssard, 2017.

conséquent tout en présentant un partage des risques équilibré.

Le **projet Hype** a été lancé en décembre 2015 par la société du taxi électrique parisien (STEP).<sup>20</sup> Cette société utilise exclusivement des véhicules à hydrogène. Cette technologie offre les mêmes avantages qu'un véhicule électrique à batterie (absence d'émissions de CO2 et réduction des émissions de particules fines dues au freinage) avec en plus un temps de recharge de quelques minutes et une autonomie importante d'environ 500-600 km, essentielle pour un usage intense de véhicule comme taxi. En 2017 l'opérateur comptait 70 véhicules s'approvisionnant sur deux stations opérées par Air Liquide et localisées au Pont de l'Alma et près de l'aéroport d'Orly. Aujourd'hui la flotte compte 100 véhicules qui se rechargent sur 4 stations (Pont de l'Alma, Orly, Roissy et Versailles). La Caisse des Dépôts et Consignations a pris une participation dans le capital de la société Hype, de même que l'industriel Air Liquide. Le projet bénéficie de subventions européennes. L'objectif est de 600 véhicules en 2020 (Hyundai et Toyota) s'approvisionnant dans plusieurs stations situées à Paris et dans la région parisienne.



*Une Renault Kangoo Z.E.-H2 branchée sur la station de distribution d'hydrogène du Conseil Général de la Manche, à Saint-Lô*

---

<sup>20</sup> Voir Alena Fargère, 2018.



