

La filière hydrogène dans les transports a besoin de l'Europe

Mars 2020

Résumé

Cette note identifie les deux handicaps majeurs que doit surmonter la filière hydrogène dans les transports : l'effet de réseau entre l'infrastructure et l'usage du véhicule susceptible de créer des problèmes de coordination entre acteurs industriels ; l'importance des effets d'expérience au sein et entre producteurs pour la baisse des coûts. Pour surmonter ces deux handicaps une politique publique devrait idéalement être articulée en deux niveaux : un niveau local pour la coordination entre acteurs et un niveau européen pour générer des volumes suffisants. L'exemple des bus à hydrogène montre qu'une telle politique est possible et peut effectivement engendrer des effets vertueux. Des politiques du même type pourraient être mises en œuvre pour d'autres usages : véhicules utilitaires, poids lourds, camions bennes, trains...

Points clés

- La montée en puissance la filière hydrogène est encouragée par diverses initiatives tant en France qu'à l'étranger. L'approche privilégiée en France repose sur la notion d'écosystème régional : autour d'une ville, d'une communauté de collectivités locales, voire d'un département ou d'une région...
 - Cette note propose une évaluation de cette approche. L'exemple des bus à hydrogène montre l'intérêt d'un bouclage entre le niveau local et le niveau européen, seul niveau suffisamment significatif pour générer les effets de volumes capables d'engendrer les baisses de coûts nécessaires à la compétitivité de la filière hydrogène.
 - Pour les bus le bouclage est assuré au niveau local par le volontarisme des villes, acteurs de premier plan sur la transition énergétique dans les transports, et au niveau européen par des programmes destinés à soutenir et coordonner les villes s'engageant dans cette filière.
 - L'exemple des bus peut servir de référence pour d'autres usages : véhicules utilitaires, poids lourds, camions bennes, trains... mais aussi intégration de l'hydrogène dans les réseaux de gaz pour la production de chaleur... A contrario cet exemple suggère de ne pas s'engager localement dans des écosystèmes trop spécifiques.
 - Les conditions semblent réunies pour qu'une politique industrielle européenne se mette en place dans ce secteur.
-

Le plan Hulot : un point de départ

Le 1^{er} juin 2018, Nicolas Hulot a présenté un *plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*.¹ Ce plan était attendu par les acteurs publics et privés du secteur des transports. Il propose une série de mesures et met en place un budget de 100 millions d'euros par an et donne une impulsion nationale à une série d'initiatives soutenues par les industriels du secteur sur le plan international.

Ce soutien public répondait à deux objectifs : lutter contre le changement climatique au niveau global en réduisant les émissions du secteur, 37 % des émissions de CO₂ en 2017 en France,² et lutter contre la pollution urbaine, source de morts prématurés et d'infections respiratoires associées aux particules fines (OECD 2014)³.

La filière hydrogène contribuera à la réalisation de ces objectifs, en complément à la filière batterie, si elle est capable de surmonter deux handicaps : une baisse substantielle de ses coûts et la mise en place d'une infrastructure pour la production et la livraison d'hydrogène vert.

Cette note met en évidence que la réponse sous la forme d'écosystèmes régionaux encouragée en France par le plan Hulot est un point de départ à condition d'être accompagnée par une politique industrielle au niveau européen.

Les deux handicaps de la filière hydrogène dans les transports

Les facteurs économiques qui sont à la base de ces handicaps s'expliquent par des défaillances de marché particulièrement pénalisantes dans la phase de démarrage :

- La complémentarité entre l'infrastructure et l'usage du véhicule, sans station de recharge pas d'usage du véhicule mais sans véhicules pas d'intérêt pour des stations de recharge, d'où un effet de réseau susceptible de créer des problèmes de coordination entre acteurs industriels ; d'où des subventions à l'installation d'infrastructure de recharge et à l'achat de véhicules pour limiter l'impact de cette première défaillance de marché ;
- L'importance des effets d'expérience au sein et entre producteurs pour la baisse des coûts ; d'où l'intérêt de stimuler la demande de véhicules par des subventions à l'achat de véhicules, là encore pour limiter l'impact d'une défaillance de marché.

Encadré 1

Deux faits illustrant l'importance des handicaps.

¹ https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Plan_deploiement_hydrogene.pdf

² Source <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2015759#tableau-figure1> Le pourcentage était de 31 % en 2000, il a augmenté dans les vingt dernières années car les émissions totales ont diminués plus fortement que celles des transports . Pour une analyse plus complète voir http://www.chair-energy-prosperity.org/wp-content/uploads/2019/11/publication2019_past-trends-in-transport-co2-emissions-france_bigo.pdf

³ 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>

Prenons d'abord la question de la coordination entre acteurs en présence d'effets de réseau. Pour être rentable une station hydrogène standard doit livrer environ 200 kgH₂/jour. Si un véhicule à hydrogène consomme 1 kg d'H₂ au 100 km et parcourt 15 000 km par an, une telle station doit servir 400 véhicules circulant 300 jours par an. C'est seulement à Paris qu'on trouve une flotte significative de véhicules à hydrogène : en reprenant notre raisonnement une station suffirait pour les 75 taxis à hydrogène Hype en circulation en 2017, chacun roulant environ 100 000 km par an sur 365 jours ; or pour éviter d'avoir à parcourir des km pour faire le plein il est nécessaire d'avoir 4 stations de recharge, Pont de l'Alma, Roissy, Orly et Versailles ; ces stations sont donc en sous-utilisation. Fin 2020 il est prévu 600 taxis et 3 nouvelles stations... la coordination entre déploiement de la flotte et mise en place de stations est possible de part l'existence d'une filiale commune entre STEP, Air Liquide, Idex et Toyota.⁴

*Prenons maintenant la question des coûts et de l'effet d'expérience. Faisons un calcul de coin de table pour évaluer le coût d'abattement d'une tonne de CO₂ si on remplace un véhicule à essence par un véhicule à hydrogène. Le coût d'abattement est un indicateur qui évalue le surcoût payé pour réduire les émissions de CO₂ lors de cette substitution. Le prix de vente d'une Toyota Mirai est de l'ordre de 80 k€ et celui d'une Mercedes classe V, véhicule équivalent en termes de catégorie, de l'ordre de 50 k€. Considérons pour simplifier que la durée de ces véhicules est de 10 ans et négligeons le facteur d'actualisation ; la substitution engendre un surcoût annuel de 3 000 €. Négligeons aussi les coûts d'entretien et d'usage. Mercedes indique un taux d'émissions de l'ordre de 200 g/km. Pour un parcours de 15 000 km/an le coût d'abattement s'élève donc à $3\,000 / (200 * 15\,000) \text{ €/gCO}_2 = 1\,000 \text{ €/tCO}_2$! Sur cette base la substitution ne saurait être justifiée sur la plan économique. Pour obtenir un coût d'abattement qui permette de l'envisager, disons 100 €/tCO₂, il faudrait donc que le prix de vente de la Mirai baisse à 53 k€. Pour réduire ses coûts (et satisfaire une demande croissante) Toyota a prévu de faire passer sa production mondiale de 3 000 en 2020 à 30 000 Mirai en 2023 ; on sera encore loin du compte pour générer les baisses nécessaires. Par comparaison, début 2019, Tesla a produit 30 000 véhicules par mois ; l'effet d'expérience sur les véhicules électriques à batterie profite de volumes beaucoup plus élevés.*

La réponse par le développement des écosystèmes régionaux ne suffit pas

Schématiquement il existe deux approches pour lancer le déploiement des véhicules à hydrogène : une approche *top-down* et une approche *bottom-up*.

La première approche a été notamment mise en œuvre en Californie et en Allemagne, elle consiste à couvrir le territoire de stations par un maillage reliant les grandes villes par des corridors. L'emplacement de ces stations relève d'une planification centralisée : les opérateurs sont retenus soit directement (à travers leur participation à une *joint-venture* en Allemagne associant Etat et partenaires industriels) soit par appels d'offres (en Californie) et se voient accorder des subventions. En 2019, en Californie, il y avait 33 stations et 4 200 véhicules à hydrogène.⁵ En Allemagne 400 stations sont toujours prévues à l'horizon 2023 mais les 89 stations existantes en 2019 peinent à trouver des clients (119 véhicules en 2019).⁶

⁴ <https://fr.media.airliquide.com/actualites/air-liquide-idex-step-et-toyota-creent-hysetco-pour-le-developpement-de-la-mobilite-hydrogene-6b4c-1ba6d.html>

⁵ <https://www.californiahydrogen.org/resources/hydrogen-faq/>

⁶ <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1#>

La deuxième approche, dite *bottom-up*, est privilégiée en France. Elle repose sur la notion d'écosystème régional. Autour d'une ville, d'une communauté de collectivités locales, voire d'un département ou d'une région, il s'agit de bâtir un projet impliquant différentes parties prenantes pour le déploiement d'une filière hydrogène : industriels producteurs ou consommateurs d'hydrogène, acteurs publics et privés de la mobilité, organismes de financement... La question de la coordination entre les sources d'approvisionnement, les usages et les besoins financiers est plus facilement résolue à ce niveau. L'engagement des hommes politiques est aussi plus facile à ce niveau car le développement de la filière est vu comme une source de nombreuses retombées locales. L'Afhypac a recensé plus d'une dizaine de tels projets.⁷

Encadré 2

Trois exemples d'écosystèmes.

Le projet EasHyMob dans la Manche 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. Ce département est potentiellement riche en énergies non carbonées : nucléaire, éolien, barrage de la Rance... D'où l'intérêt des élus locaux pour conserver une partie de la valeur ajoutée grâce à la filière hydrogène. Le plan de 2016 prévoyait 15 stations et 250 véhicules à l'horizon fin 2018 ; le déploiement se focalisait sur des véhicules utilitaires légers, principalement la Kangoo électrique avec prolongateur d'hydrogène. Ce type de technologie permet de passer d'une autonomie de 180 à 300 km, ce qui est bien adaptée à des flottes captives. La subvention s'élevait à 50% prélevé sur un budget de 5 M€ destiné à financer le déploiement des stations. A cette subvention européenne s'est ajoutée une subvention régionale de 20% sur l'infrastructure et de 7 000 € sur les véhicules hydrogène. Les véhicules bénéficiaient en parallèle de la prime nationale accordée à l'époque pour l'achat de véhicules propres, soit 6 000 €.

Le projet Zero Emission Valley (Région Rhône Alpes) 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 alors que les stations dans la Manche sont seulement de 350 bar) et donc 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, une aide sous la forme d'avance remboursable financée par l'Ademe a été mise en place.

Le projet Hype a été lancé en décembre 2015 par la société du taxi électrique parisien (STEP). Cette société utilise exclusivement des véhicules à hydrogène. Les grandes villes mettent en place des politiques volontaristes de décarbonation dans les transports, or les taxis et VTC sont les plus gros pollueurs à Paris en matière de NOx et de particules fines avec environ 50 000 véhicules. Dans ce contexte un véhicule à hydrogène à deux atouts par rapport à la batterie : un temps de recharge de quelques minutes et une autonomie importante d'environ 500-600 km ; le capital financier immobilisé dans le véhicule peut donc être rentabilisé par un usage intensif à travers plusieurs chauffeurs et autant de licences. En 2019 STEP, Idex, Air Liquide et Toyota ont créé une société commune se fixant comme objectif de développer la mobilité hydrogène en région parisienne, notamment en offrant les services de cette société aux chauffeurs de taxis indépendants.

⁷ <https://www.vighy-afhypac.org/>

Les projets *EasHyMob* et *Zero Emission Valley* illustrent les avantages et inconvénients de l'approche *bottom-up* : d'un côté une focalisation sur un segment trop étroit pour *EasHyMob* à la fois en termes de gamme (Kangoo électrique avec prolongateur d'hydrogène) et de partenaires (des entités publiques ou majoritairement publiques disposant de ressources financières limitées), d'un autre côté le projet *Zero Emission Valley* misent sur de nombreux usages potentiels mais ces projets restent peu prévisibles pour construire une demande rentable en matière de production et de distribution d'hydrogène. Le projet *Hype*, évite ces deux écueils : le déploiement coordonné d'une flotte de véhicules et de stations.

Ces exemples laissent cependant irrésolue la question de la baisse des coûts. L'exemple des bus à hydrogène va nous aider à voir comment combler cette lacune.

L'intérêt de l'Europe pour le passage à l'échelle : l'exemple des bus

L'exemple des bus à hydrogène (FCEB pour *Fuel Cell Electric Buses*) illustre l'intérêt d'un bouclage pour la question de la baisse des coûts entre le niveau écosystème régional et un niveau plus global. Il nous permettra aussi de faire une première évaluation des politiques publiques mobilisables dans cette perspective.

Comme cela a été déjà dit, les villes sont des acteurs majeurs dans la transition énergétique de par leurs émissions de CO2 mais aussi pour des raisons de pollutions locales et de congestion. A ce titre elles disposent d'un pouvoir réglementaire (restrictions de circulation), elles disposent aussi d'un certain pouvoir dans les transports urbains qu'ils soient publics ou opérés sous forme de régies. Noter enfin que la part des transports publics dans les villes va vraisemblablement s'accroître alors que la place des véhicules individuels va diminuer.

D'après le rapport du *Europe Urban Bus Market Outlook Report 2017-2030* il y aurait environ 100 000 bus circulant dans les 75 villes les plus importantes en Europe sachant qu'elles ont souvent pris l'engagement d'éliminer les bus diesel à l'horizon 2025⁸.

Nous sommes donc devant un marché très important et vis-à-vis duquel la pression politique à la décarbonation est très forte. Il reste à voir la place que pourrait avoir les FCEB sur ce marché. Les principaux avantages de cette technologie par rapport aux bus à batterie (BEB pour *Battery Electric Buses*) sont les suivants :

- Une autonomie de 450 km au lieu de 200 km.
- Une moindre dépendance de cette autonomie que celle des BEB aux conditions extérieures de température (pour assurer le chauffage ou la climatisation) et de topographie du circuit.
- Le poids excessif des batteries pour les bus articulés.

Dans ces conditions les industriels du secteur s'accordent pour considérer que la part de marché que le segment de FCEB pourrait s'attribuer est de l'ordre de 7 à 9 % en 2025.⁹

⁸ Par exemple Londres pour un parc de plus de 9 000 à Londres, Paris pour un parc de près de 7 000.

⁹ Roland Berger GmbH, *Fuel Cell Electric Buses – Potential for Sustainable Public Transport in Europe, A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, September 2015.

Mais les coûts des FCEB sont aujourd’hui trop élevés. Le tableau 1 donne une estimation du coût complet d’utilisation y compris le coût d’acquisition (TCO pour *Total Cost of Ownership*) pour trois technologies pour un bus de taille standard de 12 m.

TCO 2018 (€/km)	FCEB	BEB	Diesel
Prix d'achat (€)	700 000	470 000	210 000
capital immobilisé	1,07	0,90	0,40
maintenance	0,40	0,80	0,30
frais de personnel	1,50	1,50	1,40
prix unitaire (kg H2, kWh, l)	10,00	0,24	1,60
consommation au km	0,08	1,30	0,30
fuel	0,80	0,31	0,48
Total	3,77	3,51	2,58

Tableau 1 : Comparaison des coûts complets d’utilisation des FCEB, BEB et bus diesel¹⁰.

L’intérêt d’une substitution des bus diesel par des bus FCEB ou BEB dépend des coûts mais aussi des émissions de CO2 évitées et de la baisse de la pollution locale. La pollution locale (principalement NOx et particules fines) a un impact sur la santé et il est possible de chiffrer son coût social. Le rapport Quinet (2013) donne des ordres de grandeur pour les bus diesel en fonction de la zone concernée (urbaine, banlieue...) et de la densité correspondante d’habitants¹¹.

Le tableau 2 donne le coût d’abattement avec et sans prise en compte de la pollution locale (niveau urbain) et en supposant que le mode de production est totalement décarboné tant pour l’hydrogène que pour l’électricité alors qu’un bus diesel émet environ 1 200 gCO2/km.

coût abattement €/tCO2	FCEB/diesel	BEB/diesel	
émissions gCO2/km	0	0	1 200
€/tCO2	995	776	
avec coût social (urbain)	872	657	

Tableau 2 : Coût d’abattement pour un FCEB et un BEB par rapport à un bus diesel

Même en intégrant les coûts sociaux de la pollution locale on reste éloigné de la valeur tutélaire du prix de carbone, puisque celle-ci se situe plutôt entre 50 et 100 €/tCO2 en 2020, et 250€/tCO2 en 2030.¹² Cependant, un tel calcul est statique et n’intègre pas les bénéfices associés à la baisse des coûts futurs, ces bénéfices peuvent justifier le déploiement de la filière si les volumes sont suffisants.

Quelques agglomérations en France vont mettre en service d’ici la fin de 2019 les premiers bus à l’hydrogène, à Pau (8), Versailles (2) et à Bruay-La-Buissière et Auchel dans le Pas-de-Calais (6). Or

¹⁰ Le capital immobilisé en €/km est obtenu sur la base d’un taux d’actualisation de 5% et de 70 000 km/an.

¹¹ Quinet E., 2013, L’évaluation socioéconomique des investissements publics, Tome 1, page 45.

<https://www.strategie.gouv.fr/publications/levaluation-socioeconomique-investissements-publics-tome1>

¹² Quinet, A, 2019, La valeur de l’action pour le climat, France Stratégie.

<https://www.strategie.gouv.fr/publications/de-laction-climat>

pour avoir une chance d'atteindre les objectifs de baisse de coût sur la base d'un effet d'expérience de l'ordre de 10 % à un horizon de 10 ans, il faudrait déployer plusieurs centaines de bus par an. Un tel volume n'est envisageable qu'à l'échelle européenne.

Il se trouve que des programmes de soutien à la filière hydrogène, et plus particulièrement pour les FCEB, ont été mis en place par la Communauté Européenne depuis le début des années 2000. On peut distinguer deux phases.

Phase 1 : programmes de démonstration

Six programmes mis en place entre 2000 et 2017. Une douzaine de villes européennes ont bénéficié de ces programmes : typiquement il s'agissait de tester la faisabilité technique et opérationnelle d'un recours à des FCEB, avec un nombre très limité d'unités en circulation. Il s'agissait aussi de tester l'interface entre les bus et l'infrastructure en hydrogène. La question du coût ne constituait pas un obstacle à ce stade.

Phase 2 : passage à l'échelle

En 2017 la Commission Européenne a lancé une initiative pour des bus propres (*The Clean Bus Deployment Initiative*). Cette initiative repose sur trois piliers¹³:

1. Une déclaration publique approuvant l'ambition commune de villes et d'industriels dans laquelle les signataires s'engagent à accélérer le déploiement de 2,000 bus propres à l'horizon fin 2019;
2. La création d'une plateforme commune regroupant les autorités publiques, les opérateurs de transport, les industriels et les organismes de financement pour :
 - Favoriser un meilleur échange d'informations ;
 - Mettre en place des opérations jointes;
 - Servir de levier pour le financement ;
 - Promouvoir des recommandations sur des sujets spécifiques.
3. Création d'un groupe d'experts venant de l'offre et de la demande pour traiter les questions techniques, financières et organisationnelles.

C'est dans ce contexte favorable que deux nouveaux programmes furent lancés pour favoriser le déploiement de FCEB: JIVE 1 et JIVE 2 (*Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe*). JIVE 1 bénéficie d'un budget total de 106 M€ et JIVE 2 de 225 M€, soit en tout un budget en hausse de plus de 50 % par rapport à la totalité des programmes antérieurs.¹⁴

Peut-on considérer pour autant que les programmes JIVE vont permettre le passage à l'échelle souhaitable pour générer les baisses de coûts attendus ? On trouvera tableau 3 le nombre de FCEB financés par ces deux programmes. On se rapproche de plusieurs centaines par an.

Région	#FCEB JIVE 1	#FCEB 2020 et au delà
Benelux	50	136
France	15	49
Allemagne/Italie	88	177

¹³ https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cleanbus_en

¹⁴ Pour analyse détaillée de l'efficacité de ces deux programmes voir Meunier, Moulin et Ponssard (2019).

Europe Nord Est	50	147
Grande Bretagne	88	136
Total	291	645

Tableau 3 : le nombre de FCEB déployés par les programmes JIVE 1 et JIVE 2

Des signes encourageants viennent conforter cette perspective.¹⁵ Le 3 Juin 2019, le Consortium H2Bus (Everfuel, Wrightbus, Ballard Power Systems, Hexagon Composites, Nel Hydrogen et Ryse Hydrogen) s'est engagé à déployer 1 000 FCEB, ainsi que l'infrastructure associée dans des villes européennes. La première phase de ce projet porte sur 600 FCEB à l'horizon 2023 (Danemark, Lettonie, Grande Bretagne) et bénéficie d'un financement de 40 M€ de l'UE.¹⁶ La France de son côté n'est pas en reste avec un plan de déploiement de 1000 FCEB aussi à l'horizon 2023.¹⁷

En parallèle on note une baisse de prix d'achat des FCEB : 650 à 625 k€ en 2020, quelques fournisseurs semblent prêts à s'engager sur un prix inférieur à 450 k€ sous réserve de commandes d'au moins 100 bus par an.

Vers une politique industrielle européenne

L'exemple des FCEB est riche d'enseignements. Il met bien en évidence l'intérêt d'un bouclage entre le niveau local (les écosystèmes régionaux pour assurer la coordination entre les utilisateurs, les fournisseurs et les financeurs sur un plan de déploiement réaliste) et un niveau global suffisamment significatif pour générer les effets de volumes seuls capables d'engendrer les baisses de coûts nécessaires à la compétitivité de la filière hydrogène.

Il peut servir de référence pour d'autres usages : véhicules utilitaires, poids lourds, camions bennes, trains... mais aussi intégration de l'hydrogène dans les réseaux de gaz pour la production de chaleur et autres usages industriels dans les aciéries, cimenteries, complexes chimiques ... En effet des partages d'expériences sont possibles à différents niveaux de valeur ajoutée. Les baisses de coût interviendront alors sur l'ensemble de la chaîne de valeur (production, stockage et distribution d'hydrogène, piles à combustible et systèmes de pilotage, réservoirs à haute pression, assemblage des véhicules, etc.). A contrario il permet de ne pas s'engager dans des écosystèmes trop spécifiques comme cela a été le cas avec *EasHyMob*.

On comprend aussi que les industriels du secteur aient mis en place des stratégies très offensives au niveau européen. Si les constructeurs européens de véhicules ne se sont engagés que tardivement dans la filière hydrogène (après il est vrai avoir essuyé des échecs au départ), ils cherchent maintenant à rattraper leurs retards vis-à-vis de sociétés comme Toyota ou Hyundai. Toute la filière se met en mouvement attirant de nombreux nouveaux entrants confirmant une fois de plus que c'est au niveau de l'Europe que se jouera l'avenir de la filière hydrogène.

¹⁵ <https://www.greencarcongress.com/2019/06/20190604-h2bus.html> et

<https://www.fch.europa.eu/news/fch-ju-launches-new-call-project-proposals>

¹⁶ <https://www.fch.europa.eu/news/fch-ju-launches-new-call-project-proposals>

¹⁷ <http://www.afhypac.org/actualites/articles/le-plan-1000-bus-hydrogene-vient-de-franchir-un-nouveau-cap-en-france-1887/>

Auteurs

Guy Meunier est Chargé de recherche à l'INRAE (UR ALISS), Professeur chargé de cours à l'Ecole Polytechnique) et Responsable de l'axe Politiques sectorielles de la chaire Energie et Prospérité.

Jean-Pierre Ponssard est Directeur de recherche émérite au CRNS (CREST - Ecole Polytechnique) et Directeur scientifique de la chaire Energie et Prospérité.

Etudes de référence

Les arguments développés ici sont repris des articles suivants accessibles sur le site de la chaire.

Creti, A., Kotelnikova, A., Meunier, G., & Ponssard, J. P. (2018). Defining the abatement cost in presence of learning-by-doing: Application to the fuel cell electric vehicle. *Environmental and resource economics*, 71(3), 777-800.

Brunet, J. and Ponssard, 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.202>

Guy Meunier, G., Lucie Moulin, L. and Ponssard, J.-P. (2019) Working paper <https://www.researchgate.net/publication/338096396> Why local initiatives for the energy transition should coordinate The case of cities for fuel cell buses in Europe

Guy Meunier, G. and Ponssard, J.-P. (2020) Optimal Policy and Network Effects for the Deployment of Zero Emission Vehicles,
https://www.cesifo-group.de/ifoHome/publications/docbase/DocBase_Content/WP/WP-CESifo_Working_Papers/wp-cesifo-2018/wp-cesifo-2018-04/12012018007026.html



Source <http://erh2-bretagne.over-blog.com/2014/03/08-03-2014-premiers-pas-vers-un-reseau-europeen-de-bus-hydrogene.html>