

# Transport : penser la complémentarité batteries, gaz, biocarburants et hydrogène

Jean-Paul Jamef<sup>1</sup>

**Changer les modalités des déplacements : l'électrique ne suffit pas. Il faut étoffer l'offre notamment avec le gaz, les biocarburants et l'hydrogène.**

La loi sur les mobilités a réaffirmé l'obligation d'abandonner l'utilisation des moteurs thermiques en 2040 pour les véhicules particuliers. Cette transition sera basée sur le développement des voitures à batteries électriques dans le cadre d'une transition énergétique intégrant une maîtrise de la consommation d'électricité, un développement des énergies renouvelables et une réduction de la part d'électricité nucléaire. Nous pensons que cette démarche est trop étroite et ne met pas assez en perspective les différentes réponses technologiques selon les diverses modalités de mobilité des véhicules qu'ils soient légers ou non. Cette veilleité de changement devrait aboutir à une réévaluation des politiques en faveur des filières gazières, des biocarburants et de la filière hydrogène.

Malgré de fortes incitations, les ventes de véhicules électriques en France et en Europe restent confidentielles. Au premier semestre 2019, les nouvelles immatriculations dans l'Hexagone portaient sur 21 000 voitures particulières et sur 4 300 utilitaires légers électriques sur un total de 1 414 000 véhicules soit 1,7 % de part de marché. Les hybrides simples s'élevaient à 48 850 véhicules et les hybrides rechargeables à 8 900 voitures soit 4,96 % de part de marché. Il n'existe pas de solution convaincante pour assurer des longs trajets avec des véhicules équipés de batteries en toutes circonstances (poids et taille des batteries, autonomie de ce fait limitée, sans solution de recharge rapide au moment des grands départs). C'est pourquoi les ventes de véhicules hybrides sont bien supérieures aux ventes de véhicules à batteries. Les hybrides rechargeables ne représentent que 17 % des véhicules

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France

hybrides du fait d'un coût supplémentaire de l'ordre de 10 000 euros. Le véhicule électrique restera donc durablement limité aux déplacements urbains notamment domicile-travail. L'objectif de l'arrêt de la commercialisation des véhicules thermiques paraît ambitieux et ne peut être réaliste que si l'on conserve les véhicules hybrides et hybrides rechargeables. Ces véhicules apparaissent comme des solutions de moyen /long terme étant donné qu'ils résolvent le problème de la pollution urbaine et permettent de limiter de manière significative la surconsommation dans les embouteillages (4 l/100 km à comparer aux 9 l/100 km pour leur équivalent essence) réduisant ainsi les émissions de CO<sub>2</sub>. Or, comme le souligne l'Académie des technologies « le financement des infrastructures (renforcement des réseaux électriques) à la charge de la collectivité et non des utilisateurs, la quasi-gratuité du rechargement aux bornes publiques et l'absence de fiscalité ne sont pas des solutions soutenables dans la durée ».

Ces remarques ont pour conséquence que, même avec une politique très volontariste, la transformation des systèmes de transports terrestres prendra du temps, et que les solutions transitoires méritent d'être approfondies et finement évaluées. Il faut remarquer que la réglementation européenne sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports ne porte que sur les automobiles et les véhicules utilitaires légers de moins de 3,5 tonnes. Or les véhicules utilitaires même s'ils ne représentent que 16 % des kilomètres parcourus rejettent 40 % des émissions de NO<sub>x</sub> et des particules fines. Même lorsque les capacités des batteries seront améliorées elles seront incapables de faire rouler un poids lourd sur des longues distances. Il faut donc songer à d'autres solutions comme le recours notamment à la motorisation au gaz qui conduit par exemple à une réduction de 80 % des émissions de NO<sub>x</sub> pour les poids lourds.

## LA FRANCE PRIVILÉGIÉ LE DÉVELOPPEMENT DU GAZ POUR LES VÉHICULES LOURDS

Ce que nous allons dire pour les poids lourds peut s'appliquer également à tous les matériels de chantiers et aux engins agricoles nécessitant une certaine puissance. La filière gaz s'est développée dans les années 1990 en utilisant du gaz comprimé à 200 bars avec une autonomie de moins de 300 km pour des usages adaptés (les autobus ou les bennes à ordures rentrant au dépôt tous les soirs). Les véhicules pouvaient être rechargés pendant la nuit et repartaient le lendemain. Aujourd'hui pour des véhicules lourds, l'autonomie peut atteindre de 500 à 700 km avec du gaz comprimé et 1 500 km pour du gaz liquéfié. Le développement du

LA TRANSFORMATION DES  
SYSTÈMES DE TRANSPORT  
TERRESTRES PRENDRA  
DU TEMPS

biométhane renforce les atouts de ce carburant. Le biogaz pourrait potentiellement assurer 50 % de la demande de gaz mais sa croissance se heurte à un certain nombre de difficultés : soutien des prix trop bas, complexité des procédures d'autorisation surtout quand des collectivités publiques sont parties prenantes, sans parler de la multiplicité des réglementations concernées, des modalités d'utilisation des digestats, de la taille réduite des élevages et des financements inadaptés. Aujourd'hui l'essentiel de la méthanisation en France est « électrique ». Sur 500 méthaniseurs environ, un peu plus de 400 produisent de l'électricité et 70 injectent du biométhane dans le réseau.

La France privilégie le développement du gaz pour les véhicules lourds (comme d'ailleurs l'Espagne et le Royaume-Uni) tandis qu'en Italie le gaz se développe sur tous les segments. La technologie gaz n'ayant pas bénéficié d'autant de recherches que les technologies essence ou diesel, il reste une forte marge de progression. Le projet communautaire HDgas<sup>2</sup> a réussi à faire baisser de 10 % les émissions de CO<sub>2</sub> et à dépasser les 40 % de rendement (contre 36 à 37 % habituellement). Il reste néanmoins inférieur à celui des moteurs diesel. D'autres procédés permettent de fabriquer du gaz renouvelable. D'une part, la pyro-gazéification consiste à porter à très haute température des déchets pour récupérer des gaz de synthèse dans lesquels on trouve du méthane mais également de l'hydrogène ; d'autre part le *power-to-gaz* consiste à fabriquer du méthane de synthèse en passant par une phase hydrogène intermédiaire. On utilise de l'énergie électrique renouvelable au moment où la demande électrique est très faible pour électrolyser de l'eau et produire de l'hydrogène qui est ensuite recombinaison avec du CO<sub>2</sub> pour obtenir du CH<sub>4</sub>. On peut imaginer à l'horizon 2050 obtenir 100 % de gaz renouvelable selon la règle des trois tiers : un tiers de biométhane, un tiers par gazéification par pyrolyse et un tiers par *power-to-gaz*.

#### LA TECHNOLOGIE BIOMASS TO LIQUIDS PEUT PRODUIRE DU BIOGAZOLE

Les biocarburants permettent une valorisation sans adaptation du réseau et des véhicules. Rappelons que les biocarburants sont des carburants issus des matières organiques essentiellement végétales et renouvelables (cultures, déchets agricoles et résidus forestiers).

<sup>2</sup> Le projet HDgas souhaite développer une nouvelle génération de moteur au gaz naturel pour les poids lourds fonctionnant au gaz naturel liquéfié (GNL).

<sup>3</sup> Il s'agit de la formule chimique du méthane.

Ils ont de nombreux atouts :

- se substituer dans les transports au pétrole ;
- permettre de diminuer les émissions de gaz à effet de serre ;
- favoriser ou maintenir une activité agricole ou forestière ;
- être utilisés souvent en mélange à l'essence ou au gazole sans adaptation du réseau de distribution ou des véhicules ;
- valoriser les ressources non alimentaires par les biocarburants avancés de deuxième ou de troisième génération.

La ressource lignocellulosique impose des étapes de transformation spécifique :

- extraire la cellulose de la biomasse par un traitement spécifique ;
- transformer la cellulose en glucose par voie enzymatique en maîtrisant la consommation de ces enzymes qui sont onéreuses ;
- transformer le glucose en éthanol par fermentation ;
- valoriser les coproduits de ces opérations que sont les hemicelluloses et la lignine.

La technologie *biomass to liquids* « ou voie thermo-chimique utilisant la pyrolyse » peut produire du biogazole et du biokérosène. Les filières avancées affichent des bilans environnementaux de gain de gaz à effet de serre autour de 80 à 90 %. L'Europe, pour sa part, a mis en place une certification avec un gain exigé de plus de 60 % par rapport à la référence fossile pour les unités qui rentreront en opération après le 1<sup>er</sup> janvier 2021.

#### L'HYDROGÈNE SERA PERTINENT GRÂCE À SA DENSITÉ ÉNERGÉTIQUE

La filière hydrogène, loin de sa maturité technico-économique, sera pertinente pour les transports lourds et pour les transports de particuliers au-delà de 250 km. L'hydrogène équivaut à 3 kg d'essence. Les véhicules utilisant une pile à combustible alimentée par de l'hydrogène sont une piste à envisager pour développer une mobilité propre à condition que l'hydrogène utilisé soit décarboné et donc ne soit plus produit par vaporéformage comme aujourd'hui. Il s'agit d'un procédé de fabrication à partir de gaz d'hydrocarbures par élévation de la température entre 700 et 1000°C, principalement du méthane en présence de vapeur d'eau. Le coût de cette réaction est de 1,5 euro par kilo, soit le triple de celui du gaz naturel.

Il existe trois voies de remplacement du reformage. D'abord l'électrolyse selon différentes modalités :

- l'électrolyse alcaline ;
- l'électrolyse Pem (*Proton exchange membrane*) : ces électrolyseurs utilisent un électrolyte solide fait de membranes

LES VÉHICULES  
UTILISANT UNE PILE A  
COMBUSTIBLE ALIMENTÉE  
PAR DE L'HYDROGÈNE  
SONT UNE PISTE

polymères conductrices de protons H<sup>+</sup>, mais le coût reste élevé en raison du prix de la membrane et des catalyseurs ;

- l'électrolyse à haute température qui facilite la dissociation de l'eau. Les deux autres voies reposent sur la dissociation thermochimique de la vapeur d'eau et nécessitent de très hautes températures. Ce peut être dans le cadre de la production d'électricité nucléaire. Ainsi dans certains réacteurs de la génération IV, les réacteurs à très haute température (VHTR) sont d'emblée destinés à la cogénération électricité/hydrogène. Les incertitudes qui subsistent portent sur la technologie des matériaux résistant aux corrosions sévères et aux radioactivités intenses. Ou dans le solaire à concentration de rayonnement qui permet aussi d'atteindre des températures de l'ordre de 900 à 1000°C.

#### A FRANCE A OPTÉ POUR UNE STRATÉGIE ORIGINALE : LES CLUSTERS

La pile à hydrogène convertit l'énergie d'un combustible (l'hydrogène) en énergie électrique. Au niveau de l'anode, la molécule H<sub>2</sub> au contact d'un catalyseur se décompose et libère des électrons qui vont créer le courant électrique : c'est l'oxydation. Au niveau de la cathode, l'oxygène au contact des électrons libérés par la précédente réaction réagit : c'est la réduction. Inventée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, elle a fonctionné d'abord en catalyse acide. Dans les années trente, l'électrolyte alcalin s'est imposé. En fait la nature de l'électrolyte détermine la température de fonctionnement et le rendement du système. On distingue pour les installations petites et moyennes :

- les piles alcalines (AFC) avec des températures de fonctionnement entre 50 et 90° C pouvant monter sous pression à 250° C avec un électrolyte très concentré. Le rendement est de l'ordre de 50 % ;
- les piles à membranes échangeuses de protons (PEMFC). Ces piles fonctionnent à faible température (inférieure à 100°C) avec un rendement de l'ordre de 50 %. Elles ont l'avantage de démarrer rapidement à pleine puissance, ce qui permet d'alimenter en énergie les véhicules et installations de petite et moyenne taille (allant jusqu'à plusieurs centaines de kilowatts). La commercialisation de ces piles passe par la réduction de leur coût et l'allongement de leur durée de vie. Il s'agit d'optimiser les composants et de fabriquer des plaques bipolaires pour ces piles. Les piles à céramiques protonantes avec nouvelle électrode peuvent atteindre des rendements allant jusqu'à 98 %. Pour l'instant l'expérimentation véhicule est au stade du prototype.

Pour les stations hydrogène dont la technique est déjà maîtrisée, la France a opté pour une stratégie originale avec une notion de clusters, en partant de flottes captives plutôt que le grand public qui génère un besoin de stations. Ce n'est pas pour rien que Hyundai et Toyota font pression auprès des taxis en dupliquant le modèle Hype et s'intéressent aux autobus et aux camions. A partir du moment où une flotte captive fait le plein, le seuil de rentabilité est beaucoup plus vite atteint. La France fait partie des pays précurseurs pour l'hydrogène avec le Japon et la Chine ainsi que la Californie. Les Chinois veulent être les leaders mondiaux pour l'électromobilité : ils ont compris que dans ce domaine il existe une complémentarité entre hydrogène et batterie.

#### LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE PEUT ÊTRE UN FREIN

Je partage les réserves exprimées par l'Académie des technologies sur la loi de transition énergétique de 2015. Le débat public est fortement axé sur l'électricité alors que la France est championne de la « décarbonisation » du fait de l'importance du nucléaire et de la production hydroélectrique. Une attention particulière doit être portée aux vecteurs non électriques qui représentent les 2/3 des consommations finales. La transition énergétique aura un coût de quelques milliards d'euros d'ici à 2050, soit l'ordre de grandeur d'une année de PIB. Pour être supportable, il importe que les décisions prises le soient avec un souci constant d'optimisation économique et de minimisation de la charge fiscale. En l'absence de considérations économiques, la transition énergétique bien loin d'être un facteur de la croissance peut s'avérer un frein.

Même avec un objectif d'abandon complet de la voiture thermique en 2040, les conditions d'accès économique pour le plus grand nombre, soit à la voiture électrique avec batterie, soit à la pile à combustible ne seront pas atteintes avant 2030 compte tenu des innovations technologiques à perfectionner jusqu'à la mise en marché. Ce qui pourrait nous mener vers 2045. Cela devrait inciter les décideurs publics à organiser une palette complémentaire. Les innovations concernent aussi la configuration des ensembles urbains et des modes d'utilisation des véhicules correspondant à la création de nouveaux services. Cela mérite de nombreux débats quelles que soient les urgences climatiques qui pourraient être mauvaises conseillères et inéquitables pour beaucoup de nos concitoyens. N'oublions pas que le mouvement des gilets jaunes a ses racines sur les questions de mobilité pour tous. ■

LA TRANSITION  
ÉNERGÉTIQUE AURA  
UN COÛT DE  
QUELQUES  
MILLIARDS D'EUROS,  
SOIT LE PIB D'UNE  
ANNÉE