

## Mobilité des personnes et vecteurs énergétiques

Le parc de véhicules routiers roule aujourd'hui presque intégralement à l'essence ou au gazole d'origine pétrolière. Les objectifs affichés par le gouvernement d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et de mettre fin à la vente de véhicules roulant aux énergies fossiles d'ici à 2040 obligent à remplacer les hydrocarbures fossiles par des vecteurs énergétiques provenant exclusivement de sources renouvelables, en complément bien entendu d'actions incontournables de réduction de la demande, de report modal et d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules.

**Quatre vecteurs sont aujourd'hui en compétition pour alimenter le parc routier de demain. L'Association négaWatt, la seule à ce jour à avoir réalisé et publié un scénario de transition énergétique atteignant la neutralité carbone en 2050, propose une analyse systémique de ces différents vecteurs, partant de l'usage et remontant aux ressources primaires. Cette analyse est le fruit d'une évaluation multicritères et multisectorielle de notre système énergétique, visant à identifier pour chaque usage de l'énergie le vecteur le plus adapté, en fonction des différentes contraintes d'utilisation et de ressources.**

### → Les carburants liquides

Composés aujourd'hui essentiellement de produits pétroliers mais contenant d'ores et déjà environ 7 % de biocarburants, les carburants liquides pourraient demain provenir exclusivement de la biomasse. Pour ne pas entrer en concurrence avec des productions alimentaires, **ces biocarburants devront impérativement être de 2<sup>ème</sup> voire de 3<sup>ème</sup> génération<sup>1</sup>**. De nombreux biocarburants liquides font l'objet aujourd'hui de travaux de R&D à des stades d'avancement différents visant à produire l'équivalent de gazole ou d'éthanol, ou encore d'autres formes moins connues. Il existe très peu de pilotes industriels ayant donné satisfaction à ce jour. Les questions techniques sont probablement solubles à court ou moyen terme, mais il est trop tôt pour en estimer les coûts de production complets, qui risquent fort d'être supérieurs à ceux d'autres formes d'utilisation de la biomasse (biogaz par exemple).

Un frein majeur lié à un mix de carburants liquides de type gazole 100 % biosourcés réside dans la difficulté d'obtenir une composition homogène de tous les produits (c'est le seul vecteur énergétique étudié ici à présenter cette difficulté), étant donné la complexité et le nombre de molécules. Or pour massifier il faut standardiser. Demain il n'y aura plus la souplesse du mélange pétrole/biocarburants ; **la composition du carburant devra être strictement identique d'une pompe à une autre, ce qui est loin d'être une chose aisée sur le plan technique.**

Enfin, même s'ils sont biosourcés, les carburants liquides de type gazole restent une source importante d'émission de particules fines et d'oxydes d'azote (entraînant la formation d'ozone), deux polluants majeurs en zone urbaine. **Pour combattre le fléau de la pollution de l'air qui provoque le décès prématuré de près de 50 000 personnes par an en France, il est indispensable de s'orienter vers d'autres vecteurs énergétiques.**

Les biocarburants liquides ne sont pour autant pas totalement à exclure, même s'ils ne devraient représenter qu'une petite partie du mix énergétique des transports, mais pour le transport des

---

<sup>1</sup> L'enjeu est non seulement de ne pas utiliser des sources de biomasse alimentaire, mais également de ne pas utiliser des terres agricoles susceptibles de produire des biomasses alimentaires. Les biocarburants 2G utilisent donc des résidus de l'agriculture ou de la forêt, ou des plantes entières cultivées sur des terres les plus pauvres.

marchandises, les véhicules utilitaires (tracteurs, engins, ...), ou l'aviation. L'utilisation de biocarburants dérivés des huiles usagées par exemple conserve toute sa pertinence.

## → L'hydrogène (avec pile à combustible)

Produit aujourd'hui à partir de gaz naturel fossile<sup>2</sup>, l'hydrogène pourrait demain être produit par électrolyse de l'eau<sup>3</sup>, à partir d'électricité décarbonée.

Si certains acteurs industriels se positionnent dès aujourd'hui en faveur de ce vecteur énergétique, son utilisation dans les transports routiers semble peu pertinente, notamment pour des raisons économiques (mais pas seulement) :

- **il n'existe pas de réseau de transport et de distribution de l'hydrogène en France, ni d'espaces de stockage<sup>4</sup>** ; la nécessité de développer de telles infrastructures pour alimenter demain un parc de plusieurs (dizaines de) millions de véhicules impliquerait **un niveau d'investissement considérable** (d'autant plus que la molécule H<sub>2</sub> doit être maniée avec d'innombrables précautions) ;
- **le véhicule équipé d'une pile à combustible est gourmand en platine, matériau classé comme potentiellement critique<sup>5</sup>.**
- **les véhicules roulant à l'hydrogène présentent aujourd'hui des coûts prohibitifs**, (à cause notamment du platine) ; si des réductions de coût par effet d'échelle sont envisageables en cas de fort déploiement de ces véhicules, **leur compétitivité économique face à des véhicules électriques ou thermiques au peu de chance d'être atteinte un jour** ;
- le bilan en analyse de cycle de vie des solutions à hydrogène et pile à combustible conduit à **une consommation d'énergie primaire environ 3 fois plus élevée** que celle des véhicules à batteries ;

## → L'électricité

Le véhicule électrique présente plusieurs atouts majeurs :

- il émet peu de particules fines (abrasion des pneus, des freins et de la route uniquement) ;
- il est beaucoup plus silencieux que ses homologues thermiques ;
- dans le cas d'une électricité produite à partir de sources renouvelables, c'est **le plus efficace des véhicules routiers** « du puits à la roue » ; cette plus grande efficacité peut d'ailleurs être encore renforcée par l'hybridation avec la force musculaire (vélo à assistance électrique, pour des déplacements de proximité), entraînant des gains très importants aussi bien en termes de santé publique que d'énergie.

Toutefois, **son développement massif est aujourd'hui confronté à plusieurs freins** :

- une autonomie limitée, qui de plus se dégrade dans le temps ;
- un nombre insuffisant de bornes de recharge et une normalisation en devenir de la connectique ;
- une durée de recharge soit longue (8 heures) avec un impact modéré sur le réseau électrique, soit rapide (1/2h) voire ultra-rapide (une dizaine de 10 minutes) avec une puissance appelée très élevée et des conséquences potentiellement très lourdes sur le réseau ;
- le coût d'acquisition du véhicule, aujourd'hui encore élevé même avec des aides importantes.

Ces freins pourraient à l'avenir être au moins partiellement levés :

- la capacité des batteries a augmenté de manière sensible ces dernières années à travers notamment l'accroissement de leur taille, et cette tendance devrait se poursuivre ;
- l'objectif de 7 millions de bornes de recharge - lentes et rapides - à travers le territoire français devrait entraîner une dynamique d'équipement ;

---

<sup>2</sup> Les gisements naturels d'hydrogène découverts ces dernières décennies ne sont toujours ni bien quantifiés, ni techniquement exploitables.

<sup>3</sup> Une voie thermo-chimique existe également, mais elle reste au stade d'étude.

<sup>4</sup> Il n'est pas démontré à ce jour que le réseau existant de gaz naturel soit en capacité de remplir cette fonction

<sup>5</sup> BRGM, [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux - Le platine](#), 2 novembre 2017

- des progrès technologiques attendus couplés à un effet d'échelle permettent d'envisager une baisse conséquente du coût de production du véhicule électrique.

Si ces perspectives pourraient en première approche conduire à considérer le basculement vers le tout-électrique comme possible et souhaitable à moyen terme, une analyse plus approfondie incite à la prudence :

- si l'augmentation de la taille des batteries est une bonne nouvelle pour le consommateur, il n'en est rien d'un point de vue énergétique. Plusieurs analyses de cycle de vie<sup>6</sup> montrent **la nécessité de ne pas accroître davantage ces batteries sous peine de présenter un bilan environnemental négatif**. La question de la disponibilité des matières premières nécessaires pour la fabrication est également un élément crucial. Si le parc automobile mondial devait basculer massivement vers le véhicule électrique, le lithium pourrait commencer à manquer après 2030<sup>7</sup>, ce qui justifie en soi de réglementer et d'organiser dès aujourd'hui le recyclage de ces métaux ;
- si le déploiement d'un nombre suffisant de bornes de recharge est nécessaire, un point d'attention doit impérativement être porté sur la puissance délivrée par ces bornes, et sur la répartition des recharges dans le temps. **Il est indispensable de favoriser au maximum la recharge lente** (et de décourager la recharge rapide voire ultra-rapide), et de mettre en place des mécanismes permettant **de coupler au mieux les périodes de (sur)production et de recharge des véhicules électriques**, afin notamment d'éviter toute contribution additionnelle à la pointe électrique de 19h ;
- les réseaux de transport et de distribution d'électricité sont aujourd'hui dimensionnés par la puissance d'appel du chauffage électrique ; afin d'éviter un renforcement trop important de ces réseaux, **il est primordial de réduire la puissance appelée par le chauffage électrique** *via* la rénovation des logements et la substitution par d'autres modes de chauffage.

## → Le méthane

Le méthane utilisé comme carburant est aujourd'hui presque exclusivement d'origine fossile (GNV), mais il pourra demain être produit selon différents procédés utilisant des sources renouvelables (bioGNV) :

- méthanisation de sous-produits agricoles ;
- gazéification de biomasse solide ;
- méthanation de l'hydrogène produit par électrolyse à partir d'électricité renouvelable.

Quelle que soit son origine, le méthane-carburant permet d'éliminer toute émission de particules fines liée à la combustion, et le bruit est réduit de 3 dB par rapport aux véhicules thermiques actuels.

Des millions de véhicules roulent déjà au GNV à travers le monde, et le réseau de transport et de distribution de gaz est bien développé en France (il dessert 77 % de la population). **Le déploiement d'un parc important de véhicules au méthane-carburant ne se heurterait donc à aucun obstacle technique ou industriel majeur. Sa diffusion devra par contre être impérativement couplée à une politique ambitieuse de développement du méthane renouvelable**, sous peine de ne réduire qu'à la marge les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur des transports.

## → Tableau de synthèse

	Carburants liquides biosourcés	Hydrogène (issu de sources renouvelables)	Électricité (issue de sources renouvelables)	Méthane-carburant
<b>Freins majeurs au déploiement</b>	- forte difficulté à homogénéiser et standardiser le carburant (de type	- coût pour l'ensemble du système\$ - criticité des	- criticité des matières premières utilisées pour la fabrication de la batterie si absence de	- la ressource sera insuffisante si la transition énergétique n'est pas menée à bien dans

<sup>6</sup> Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment, ADEME, avril 2018.

<sup>7</sup> BRGM, [Fiche de synthèse sur la criticité des métaux - Le lithium](#), décembre 2017

	gazole) - émissions de polluants atmosphériques - ressource limitée - coût de production	matières premières utilisées (lithium et cobalt) si absence de recyclage	recyclage - bilan GES négatif en cas d'augmentation de la taille des batteries	l'ensemble des secteurs
<b>Conditions de déploiement</b>	- production de biocarburants 2G	- création de nouvelles infrastructures de transport et de distribution - forte baisse du coût unitaire des véhicules	- implantation de millions de bornes de recharge - pilotage intelligent des recharges - recyclage des batteries - prudence sur l'accroissement de la taille des batteries - réduction d'autres usages de l'électricité (chauffage électrique notamment)	- production de méthane renouvelable

## → Conclusion

À la lumière de cette analyse, **les vecteurs « carburants liquides (biosourcés) » et hydrogène semblent ne pouvoir prendre qu'une place limitée dans le mix énergétique des transports de voyageur.** Confrontés à d'importants freins techniques, économiques et environnementaux, leur déploiement massif est un pari très risqué. À l'heure des restrictions budgétaires, **toute dépense publique en faveur de ces vecteurs serait peu compréhensible.**

Les vecteurs électricité et gaz ont chacun leurs avantages : efficacité énergétique « du puits à la roue » nettement supérieure pour le premier (à condition que la taille moyenne des batteries cesse d'augmenter), et si l'électricité est produite à partir de sources renouvelables), autonomie et facilité de déploiement pour le second.

Des véhicules tout électrique peuvent s'envisager à l'avenir, notamment dans les zones urbaines : l'autonomie y étant un enjeu moins prégnant et la réduction des nuisances sonores et atmosphériques un atout supplémentaire, ce type de véhicule a toute sa place en ville, d'autant plus s'il est proposé en autopartage afin d'optimiser son utilisation et donc d'améliorer son bilan environnemental tout en réduisant la place allouée à la voiture en milieu urbain.

Pour une utilisation essentiellement sur longue distance, des véhicules roulant au méthane renouvelable sont quant à eux parfaitement adaptés.

Mais dans bien des cas, afin de bénéficier au mieux de chacun des avantages du gaz méthane et de l'électricité et d'optimiser l'impact environnemental des véhicules, **l'hybridation électricité/gaz semble la solution la plus pertinente.** Avec une batterie réduite mais pouvant assurer la majorité des kilomètres parcourus (la très grande majorité des déplacements se fait sur de courtes distances), l'impact environnemental est moindre : moins de consommation d'énergie et moins d'émissions de gaz à effet de serre pour la fabrication de la batterie, et moins de consommation de ressources critiques. Sa motorisation gaz lui permet de prendre le relais de l'électricité pour les déplacements de moyenne à longue distance (supérieurs à 50 km par exemple), et lèverait la nécessité de disposer sur tout le territoire de bornes de recharge rapide.

Seul frein au développement de cette solution, le coût actuel élevé des véhicules, du fait de la double motorisation. Mais la baisse annoncée des coûts des batteries et l'effet d'échelle que permettrait un déploiement massif de cette solution pourrait rendre compétitif les véhicules hybrides rechargeables à l'horizon 2030. D'ici là, un soutien des pouvoirs publics équivalent à celui accordé aux véhicules électriques serait bienvenu, à rebours de la décision prise fin 2017 de supprimer le bonus écologique pour les véhicules hybrides rechargeables.