



la CeMathèque

dossier thématique



SPW | Éditions

Mobilité

> Quelles motorisations demain ?

- > Des motorisations en plein développement
- > Quelles perspectives pour la voiture du futur ?
- > Des tests et des stratégies pour les flottes de bus
- > Le transport de marchandises : du petit véhicule utilitaire au poids lourd
- > Quelle impulsion de la part des instances publiques ?
- > Une évolution irréversible ?





Source : ING.

> Préambule

Migrer vers des transports durables nécessite une réduction de la demande de mobilité et un transfert vers les modes de déplacement les moins polluants. Un troisième axe d'action concerne le développement de véhicules alternatifs aux motorisations classiques (essence et diesel). S'ils représentent toujours de faibles parts de marché, force est de constater qu'ils sont bien présents et rencontrent petit à petit un intérêt auprès des pouvoirs publics, du secteur privé et de la population.

Les raisons de leur développement touchent principalement à leur impact environnemental réduit (émissions, polluants), à la disponibilité des ressources et à la santé publique.

Cependant, pour enclencher des transferts significatifs, des obstacles subsistent. Ils sont d'ordre financier et technologique d'abord. Des investissements conséquents de la part des pouvoirs publics et des constructeurs sont indispensables pour que ces nouveaux véhicules soient plus compétitifs et plus attractifs que les véhicules actuels, notamment en termes de confort d'utilisation, de facilité d'approvisionnement énergétique et d'autonomie. Les politiques publiques en faveur de villes propres et décarbonées sont aussi en mesure de changer la donne et d'accélérer les processus.

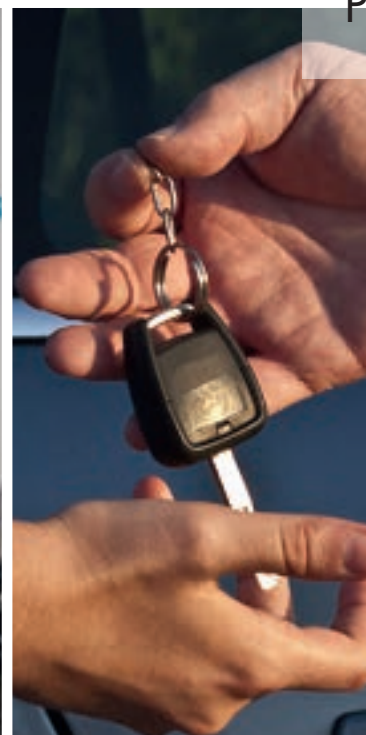
Aujourd'hui, plusieurs filières sont proposées. Comme le montrent les chapitres suivants, chaque système présente ses caractéristiques propres, ses forces et ses faiblesses, souvent susceptibles d'évolution, qui remettent alors en question certains inconvénients ou avantages actuels.

En termes d'investissement, chacun fait ses choix, tenant compte des spécificités de chaque solution et de l'usage qu'il en attend : voiture partagée ou voiture privée, bus, véhicule utilitaire, mais aussi de la durée de vie ou d'exploitation moyenne du véhicule.

Pour tenter d'y voir plus clair dans cette problématique en évolution, cette Cemathèque passe en revue les nouvelles motorisations, par type de véhicule. Il s'agit d'un état des lieux de systèmes qui n'ont donc pas dit leur dernier mot. Une mise à jour de ces informations s'imposera probablement dans un avenir relativement proche.

TABLE DES MATIÈRES

Des motorisations en plein développement	6
Quelles perspectives pour la voiture du futur ?	12
Des tests et des stratégies pour les flottes de bus	20
Le transport de marchandises : du petit véhicule utilitaire au poids lourd	26
Quelle impulsion de la part des instances publiques ?	32
Une évolution irréversible ?	36



> Des motorisations en plein développement

Le véhicule électrique existe de longue date. Il était notamment utilisé pour équiper des flottes de taxis au début du vingtième siècle¹.

La « Jamais-Contente », voiture électrique construite par la Compagnie belge des transports automobiles, est le premier véhicule automobile à avoir franchi le cap des 100 km/h en 1899 !

Les camions et les bus propulsés par des moteurs électriques équipés de batteries existaient également au dix-neuvième siècle : fourgons de livraison, camionnettes de la poste parisienne. Celles-ci parcouraient environ 70 kilomètres, échangeaient leur batterie à mi-service et se déplaçaient à 18 km/h maximum. Dès 1920, des systèmes récupérant l'énergie du freinage étaient opérationnels. Des bus électriques de 38 places, avec accumulateurs, circulaient à Lyon à la fin des années vingt. Ils avaient une autonomie de 120 kilomètres.

À la faveur de la pénurie de pétrole, les camions électriques se sont répandus pendant les années quarante. Ensuite le diesel a pris le dessus et les constructeurs de camions électriques ont cessé cette activité durant les années septante. En cause, les progrès rapides des véhicules à essence et au diesel et les contraintes dues à l'autonomie limitée des batteries. Néanmoins en région parisienne, des bennes à ordures électriques ont fonctionné jusqu'en 1986.

Il en est de même des véhicules au gaz. Durant la seconde guerre mondiale, du fait de la rareté de l'essence, des véhicules ont été équipés pour pouvoir utiliser du gaz de ville.

Les véhicules à moteur thermique se sont répandus en grande partie en raison de leur autonomie bien plus élevée et de leur rapidité d'approvisionnement. Entretemps, les motorisations ont évolué et se sont améliorées, pour être aujourd'hui parfaitement fiables et occuper une place dominante. Les concurrencer, leur opposer les mêmes facilités d'usage et un coût d'achat attractif n'est pas simple !

Néanmoins... des objectifs de protection du climat et de la santé humaine et la volonté de s'affranchir de la dépendance au pétrole remettent en question les systèmes de motorisation classiques.

Le gaz, mais davantage encore l'électricité aujourd'hui, tentent de se (re)positionner et pénètrent, lentement, le marché. Ces deux vecteurs énergétiques se déclinent en quelques variantes, qui sont décrites ci-après.

Aujourd'hui, des incertitudes subsistent quant à l'évolution de ces différentes solutions. Les comparer présente des limites, car le développement de ces technologies est loin d'avoir dit son dernier mot. C'est pourquoi, nous en présenterons les grandes caractéristiques, forces et faiblesses, et quelques exemples d'utilisation, sans entrer dans les détails. Et nous nous garderons de produire des tableaux comparatifs avec des chiffres précis.



1899, la "Jamais contente", voiture électrique construite par la Compagnie générale belge des transports automobiles Jenatzy. Source : aonclassicar.fr.

Le véhicule électrique à batteries (véhicule 100 % électrique¹)

Principe

Le véhicule électrique est mu par la force électromotrice de batteries d'accumulateurs qui alimentent un (ou des) moteur(s) électrique(s).

Impact sur l'environnement

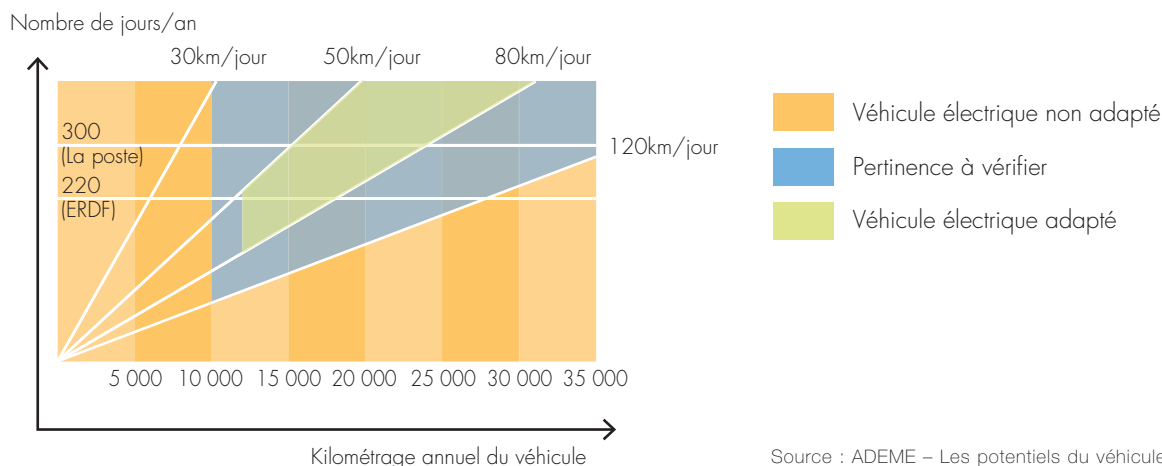
La fabrication d'un véhicule électrique implique d'autres ressources naturelles que celles d'un véhicule thermique. L'extraction des matières premières, leur traitement et la construction du véhicule et de ses composants ont des conséquences sur l'acidification des sols et des milieux aquatiques et d'eutrophisation des milieux aquatiques et zones humides. En ce qui concerne les batteries, l'approvisionnement fait l'objet d'enjeux géopolitiques potentiellement importants.

¹ appelé aussi battery electric vehicle – BEV.

TYPES DE MOTORISATION

Le véhicule électrique	est propulsé par des batteries ou par une pile à l'hydrogène ¹
Le véhicule au gaz naturel	utilise du gaz naturel comprimé (CNG – compressed natural gaz) constitué essentiellement de méthane
Le véhicule hybride	combine un moteur thermique et un moteur électrique. On distingue l'hybride direct (sans rechargement extérieur) et le plug-in hybride.

¹ À noter que les véhicules de transport en commun - trains, trams, trolleys et métros - qui sont alimentés en électricité lors de leurs déplacements via les caténaires et les pantographes - ne sont pas traités dans cette publication.



Source : ADEME – Les potentiels du véhicule électrique, avril 2016.

Et l'extraction des matières premières peut induire des effets sociaux et environnementaux négatifs. Leur recyclage constitue donc une priorité.

Le bilan CO₂ sur la durée de vie est néanmoins favorable au véhicule électrique. L'impact sur l'environnement dépend aussi de l'énergie utilisée à la source : énergie fossile ou énergie renouvelable. Mais lors de son déplacement, il n'émet aucun gaz, donc pas de NO_x, ni de COV, ni de gaz à effet de serre. De plus, il est silencieux. Ce dernier avantage est vrai jusqu'aux vitesses de l'ordre de 40 à 50 km/h : au-delà, c'est principalement le bruit de roulement des pneus sur la route qui détermine l'impact sonore de la voiture.

Une étude s'est penchée sur la production de particules fines qui pourrait être plus élevée au freinage, vu le surpoids dû aux batteries, entraînant une usure plus rapide des freins. Toutefois, avec l'amélioration de celles-ci, la récupération de l'énergie de décélération, un mode de conduite plus souple, le bilan reste globalement plus intéressant.

Contraintes

La batterie constitue encore une contrainte importante. Par exemple, avec la technologie actuelle, pour stocker 25 kWh d'énergie et rouler 150 à 200 kilomètres, une voiture a besoin d'environ 300 kg de batteries. De plus, six à huit heures sont nécessaires pour charger une batterie classique. Le problème se pose de la même manière pour les véhicules lourds.

La disponibilité actuelle des points de recharge constitue une autre contrainte importante.

Rentabilité, pertinence et avenir

Aujourd'hui, le véhicule électrique coûte plus cher qu'un véhicule à motorisation traditionnelle. L'ADEME indique que, pour être rentable, un véhicule électrique doit être utilisé davantage qu'un véhicule à moteur thermique, puisqu'il est plus cher à l'achat (fabrication) et peu à l'utilisation (énergie, entretien). On s'attend toutefois à une diminution progressive des prix.

Actuellement l'autonomie et le poids de la batterie, la disponibilité de points de charge et le temps de chargement constituent des contraintes au déploiement. C'est pourquoi, le véhicule électrique se prête davantage à une circulation en zone urbaine et pour des déplacements courts, pour des transports urbains, lorsqu'il est appelé à circuler dans un périmètre restreint, voire à emprunter les mêmes axes de circulation. Il s'agit par exemple des véhicules de transport en commun, des camionnettes de la poste, de flottes d'entreprises, des voitures en libre-service...

Des voitures électriques de taille modeste pourraient utilement être utilisées dans les zones plus rurales comme véhicules de rabattement vers des pôles de transports en commun.



Le stockage d'énergie dans les véhicules à batteries : une solution d'avenir ?

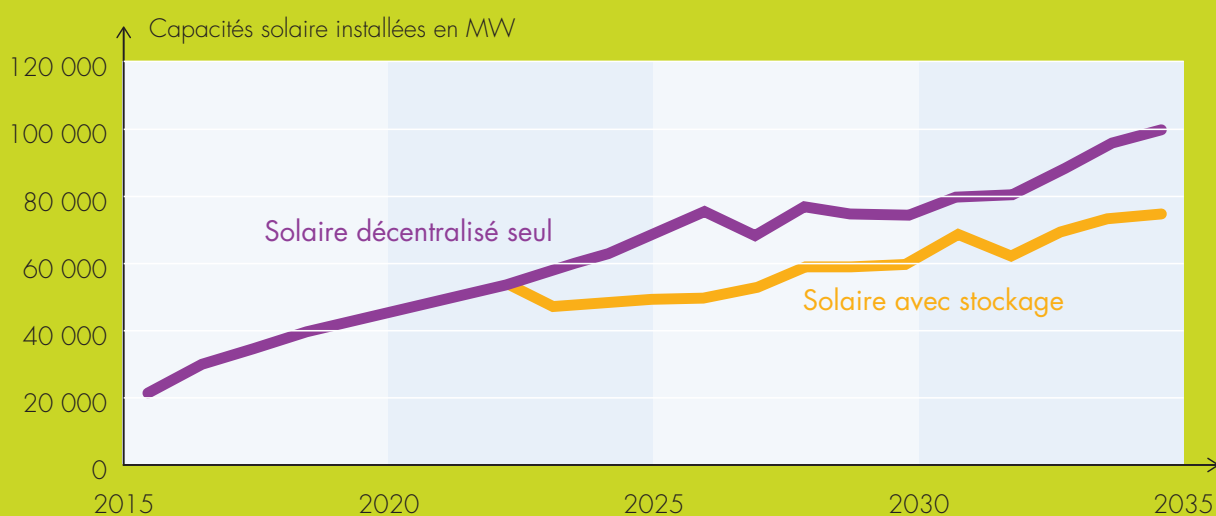
La question du stockage de l'électricité, en particulier produite par de l'énergie renouvelable intermittente, se pose. Il nécessite en effet l'installation de technologies flexibles.

C'est ainsi qu'on estime, qu'à l'avenir, les batteries, fixes ou embarquées à bord de véhicules, joueront un rôle plus large dans le stockage d'énergie éolienne et solaire lors des surproductions et contribueront ainsi à la régulation du réseau électrique. Elles peuvent jouer à la fois le rôle de générateur et de charge, avec une réactivité élevée. Le marché des batteries est en croissance exponentielle.

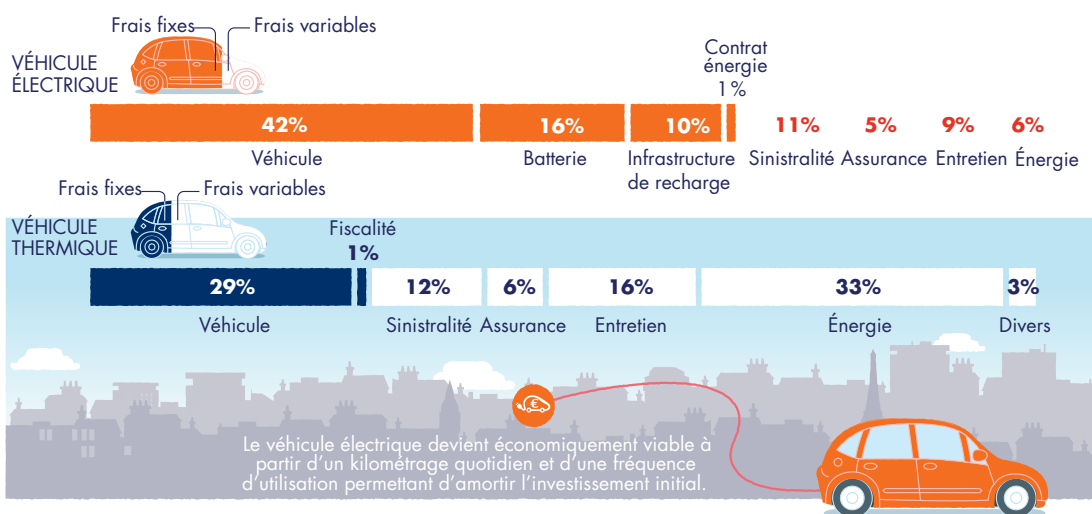
Le rôle des batteries embarquées dans les systèmes électriques intelligents (smart grid) est clairement envisagé. Dans cette hypothèse, les véhicules ne roulant pas pourraient restituer de l'énergie au réseau électrique pendant les pics de consommation.

Toutefois, actuellement, très peu de modèles permettent le flux d'électricité dans les deux sens et aucune base légale n'encadre cette possibilité.

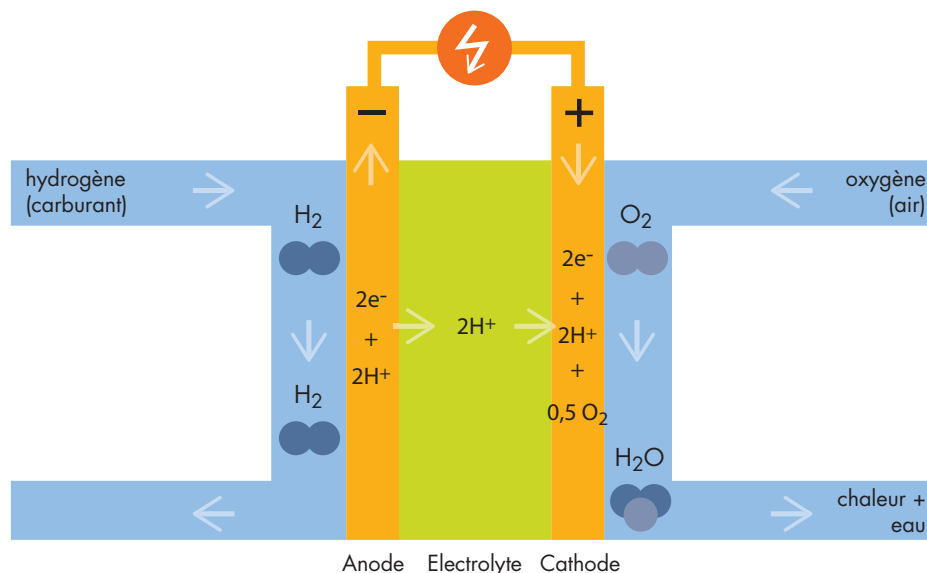
De nombreux énergéticiens se penchent sur les différents avantages des batteries. Ainsi, en Corse, Cofely Ineo, filiale d'Engie, lisse les fluctuations dues à l'intermittence de sa centrale solaire de 4,4 MW grâce à des batteries Lithium-ion couplées à un système de pilotage.



Prévisions des capacités solaires installées selon un scénario avec ou sans stockage.
Source : Analyse Sia Partners d'après données de Lux Research.



Répartition des coûts pour les véhicules électriques et thermiques constatée sur une flotte d'entreprise (projet infinidrive).
Source : ADEME – Les potentiels du véhicule électrique, avril 2016.



Principe de la Pile à combustible (PAC). Source : Blog Energie de Sia Conseil.

Une PAC se compose de 3 éléments principaux : anode, cathode et électrolyte.

L'hydrogène est amené à l'anode et oxydé suivant la réaction : $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$.

L'électrolyte ne laisse passer que le proton H^+ qui se déplace vers la cathode.

Les électrons produisent alors l'électricité en se déplaçant dans le circuit électrique qui relie l'anode à la cathode.

L'oxygène est réduit sur la cathode selon la réaction : $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$.

Le bilan de la réaction donne : $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + \text{chaleur}$.

Le véhicule électrique à pile à hydrogène

Principe

C'est la transformation chimique de l'hydrogène au contact de l'oxygène dans une pile à combustible qui produit l'énergie nécessaire pour alimenter le moteur du véhicule. L'hydrogène est l'élément le plus abondant dans la nature, mais il n'existe pas sous la forme chimique H_2 nécessaire pour faire fonctionner une pile à hydrogène. Pour l'isoler, et donc le séparer de l'oxygène - H_2O - ou du méthane - CH_4), il faut utiliser de l'énergie en grande quantité.

Découverte en 1839, la pile à combustible n'a été l'objet d'un premier prototype industriel qu'en 1953. Elle a ensuite été exploitée par la NASA dans les années 1960 pour ses missions spatiales Apollo. Depuis, de nombreuses applications ont été développées, dans des domaines aussi variés que la téléphonie mobile, la construction ou le transport.

Comme le montrent les chapitres suivants, la présence de véhicules à pile à combustible est tout à fait anecdotique à l'heure actuelle, néanmoins cette technologie poursuit sa route, et certains experts prédisent que dès 2025, cette alternative pourrait être viable.

Le Japon est particulièrement intéressé par la filière de l'hydrogène et s'est engagé dans son développement dont il espère d'importantes retombées. La Californie, le Royaume-Uni, la Norvège et l'Allemagne investissent petit à petit dans l'installation de stations à hydrogène.

Impact sur l'environnement

Comme le véhicule électrique à batterie, lors de son déplacement, il n'émet aucun gaz, est silencieux et son impact sur l'environnement dépend aussi de l'énergie primaire : énergie fossile ou énergie renouvelable. À noter que la production d'hydrogène dépend à 95% du vaporeformage de méthane. La production d'hydrogène par électrolyse est environ dix fois plus onéreuse mais potentiellement bien plus intéressante dans une filière énergétique.

Contraintes

Le véhicule à l'hydrogène présente une plus grande autonomie que le véhicule à batterie avec 400 à 500 kilomètres, et est beaucoup plus léger. L'approvisionnement s'effectue en 3 à 5 minutes. Cependant, aujourd'hui, l'installation de stations d'approvisionnement coûte cher. Elles sont encore très rares. Plusieurs pays font état de programmes d'investissements pour encourager leur construction.

Rentabilité, pertinence et avenir

Les industriels cherchent aujourd'hui à améliorer le rendement énergétique, la résistance et la compacité des piles, et à réduire le coût de production très élevé. Le fonctionnement de la pile nécessite une quantité importante de platine, un métal rare, comme catalyseur pour accélérer la réaction chimique survenant dans la pile. Des travaux de recherche-développement en cours visent à diminuer la quantité de platine requis, voire à s'en passer en utilisant d'autres métaux ou alors des membranes échangeuses d'ions, elles aussi très coûteuses.





Station de charge pour véhicules électriques. Source : Zeit Online.

■ 100 stations de charge en Allemagne

... à l'horizon 2018 et 400 à l'horizon 2023, situées le long des axes principaux, c'est une des actions qui fait suite au plan que le pays a voté à la suite de la conférence sur le climat en 2015. 21 stations étaient opérationnelles fin 2016.

■ La France vise 1000 véhicules et 100 stations

... d'ici 2018 et cible les flottes d'entreprises, les taxis et les véhicules de livraison. Le département de la Manche est particulièrement impliqué dans le développement de l'hydrogène avec la première station française à Saint-Lô, des voitures utilitaires et de service pour les agents de l'administration départementale et bientôt des bus.

Le véhicule au gaz naturel

Principe

Le gaz naturel pour véhicule est constitué à 90 % de méthane (93 % pour le gaz H et 87 % pour le gaz L). Il s'agit du même gaz que celui qui est utilisé pour le chauffage ou la cuisine : du gaz naturel comprimé (GNC) ou Compressed Natural Gaz (CNG).

Le gaz naturel ne doit pas être confondu avec le LPG (Liquid Petrol Gaz), qui est issu en partie du raffinage du pétrole et en partie des champs gaziers. Celui-ci présente l'avantage de se liquéfier sous une pression inférieure à celle requise pour liquéfier le méthane.

Il est importé de l'étranger (les grands producteurs sont la Russie et l'Algérie) ou bien est obtenu par méthanisation de déchets divers. On parle alors de biogaz.

À cet égard, différentes ressources sont disponibles en quantités importantes : ordures ménagères, déchets verts, boues d'épuration, déchets industriels et agricoles. Toutefois leur potentiel reste limité. La rentabilité de cette conversion n'est pas encore assurée et des subsides sont nécessaires pour que le biométhane soit compétitif par rapport au gaz naturel.

Le gaz naturel liquéfié, ou LNG, est la version liquide du CNG. Avec un volume réduit d'environ 600 fois, il est donc bien plus condensé et autorise une meilleure autonomie, ce qui permet son utilisation dans le domaine des transports lourds et dans le domaine maritime.

L'autonomie d'un moteur au gaz naturel varie entre 400 à 500 kilomètres (CNG seul) et 800 à 1000 kilomètres (moteur hybride ou moteur au GNL).

Impact sur l'environnement

La combustion du gaz naturel est plus propre que celle des carburants classiques. Elle produit peu de particules fines (80 à 95 % en moins). Les émissions de CO₂ lors de l'utilisation sont réduites d'environ 25 % par rapport à l'essence et de 12 % par rapport au diesel. Cependant, sur le cycle de vie du carburant, on estime la réduction des émissions par rapport à une voiture essence à 8 % et l'augmentation par rapport à une voiture diesel à 6 %¹. Ceci est principalement dû aux fuites incontrôlées de méthane, qui est un puissant gaz à effet de serre, à différentes étapes de la filière d'approvisionnement. Le biométhane est nettement plus avantageux : sur le cycle de vie, l'impact climatique est réduit de 88 % par rapport à une voiture essence et 85 % par rapport à une diesel². Les émissions de NO_x sont réduites de 50 à 60 % par rapport au diesel. Le moteur est également plus silencieux.

1 Ricardo. 2016. The role of natural gas and biomethane in the transport sector, p. 24

2 Ricardo, Ibid, p.31

Contraintes

Le gaz naturel comprimé nécessite un espace de stockage plus important que l'essence ou le diesel. Il prend place dans le plancher de la voiture, sur le plateau de la camionnette, sur le toit de l'autobus. Installé a posteriori, il est placé dans le coffre de la voiture.

En raison du nombre limité de stations d'approvisionnement, le CNG intéresse aujourd'hui surtout les flottes captives, à savoir des flottes rattachées à un site équipé d'un compresseur, en particulier des flottes d'autobus ou de véhicules utilitaires.

Dans les installations « Fast Fill », des compresseurs maintiennent le gaz à une pression constante de 250 bars, ce qui permet un plein facile, rapide (même durée que pour les carburants classiques), propre et sans odeur.

Le CNG est plus sûr que le LPG car il est immédiatement dispersé dans l'air. Il n'y a donc pas de restriction d'accès à des parkings souterrains.

Rentabilité, pertinence et avenir

La gamme des véhicules proposés est complète : voitures, véhicules utilitaires légers, bus, bennes à ordures, camions...

Actuellement, on peut considérer que le CNG constitue le premier carburant alternatif, avec plus de 18 millions de véhicules en circulation dans le monde et un taux de croissance estimé à 9 %. Il se développe de manière très variable en fonction des pays. Aujourd'hui, une quinzaine de constructeurs automobiles proposent des modèles au CNG.

Sur le plan de la consommation de carburant, le gaz naturel permet d'économiser jusqu'à 25 % par rapport au diesel, à trajet équivalent, pour un coût à la pompe en moyenne 15 % inférieur, dans l'état actuel des accises et du prix des énergies.



Véhicule au gaz naturel. Source : BFM Business.



■ Biogaz ou biométhane, quelle différence ?

Le biogaz est le résultat de la méthanisation de déchets fermentescibles, d'origine organique. Il est composé d'environ 60 % de méthane, de 40 % de dioxyde de carbone (CO_2) et d'autres impuretés dont le soufre. Il s'agit donc de la version renouvelable d'origine biologique du gaz naturel.

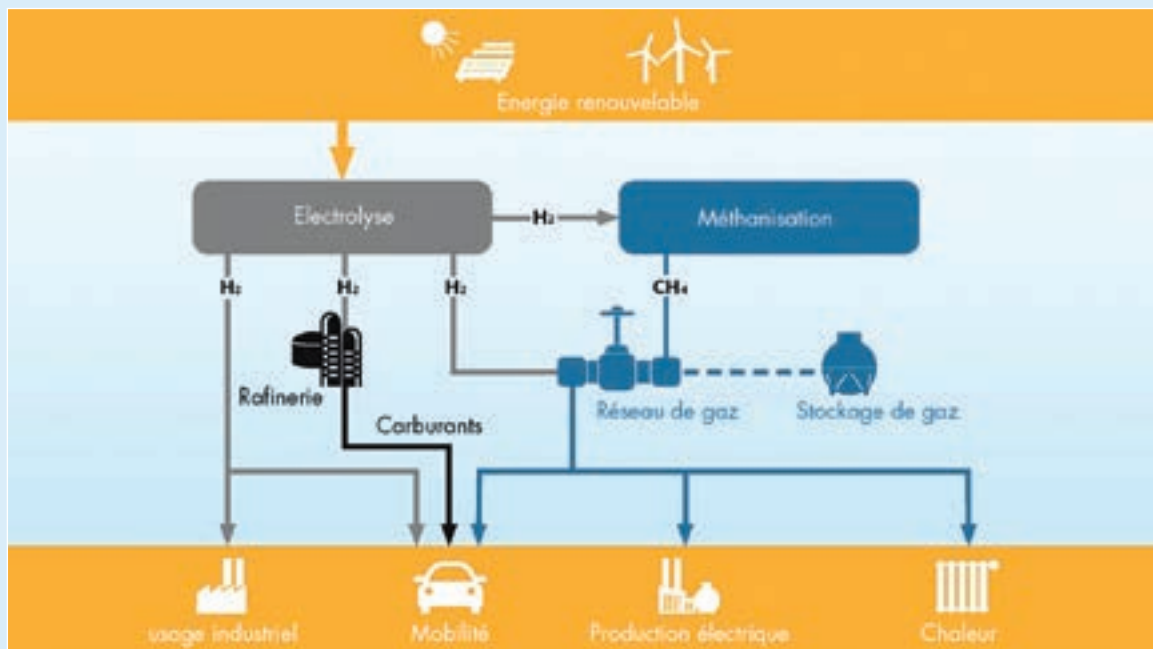
Pour obtenir du biométhane, le biogaz est filtré par un épurateur qui élimine le CO_2 et les autres composés impurs. Il contient :

- 90 % d'émissions de CO_2 en moins. Le CO_2 provient de l'énergie nécessaire pour transformer le biogaz en biométhane carburant ;
- 99 % d'émissions d'hydrocarbures résiduels en moins ;
- 50 % d'oxydes d'azote en moins ;
- pas de particules fines.

■ Le Power-to-Gas (P2G)

... consiste à transformer de l'électricité en hydrogène par électrolyse de l'eau, dès le moment où elle est excédentaire sur le réseau, en particulier lorsqu'elle est produite par le solaire et l'éolien. Ce mode de production de l'hydrogène est moins répandu que le vaporéformage de combustibles fossiles, car il est plus coûteux, il présente l'avantage d'utiliser l'énergie dite « fatale », c'est-à-dire perdue à défaut.

L'hydrogène peut soit être injecté dans les réseaux de gaz naturel (à concurrence de maximum 20 %), alimenter des véhicules à hydrogène bien sûr, voire être reconverti en électricité via une pile à combustible.

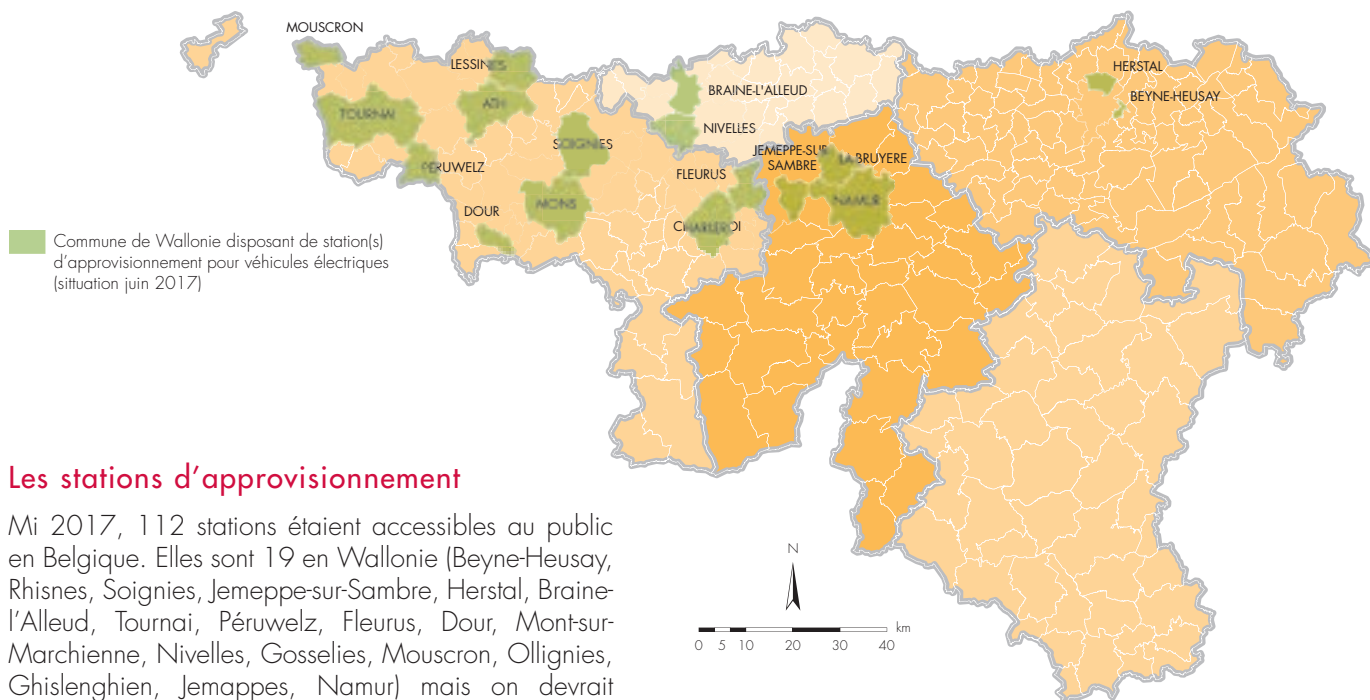


Source : Connaissance des énergies.org

Nombre de véhicules roulant au GNV

Iran	4,1 millions
Chine	4 millions
Pakistan	3,7 millions
Argentine	2,5 millions
Brésil	1,8 millions
Inde	1,8 millions
Italie	0,9 millions

Source Worldwide NGV statistics, NGV journal. Chiffres 2015



Les stations d'approvisionnement

Mi 2017, 112 stations étaient accessibles au public en Belgique. Elles sont 19 en Wallonie (Beyne-Heusay, Rhisnes, Soignies, Jemeppe-sur-Sambre, Herstal, Braine-l'Alleud, Tournai, Péruwelz, Fleurus, Dour, Mont-sur-Marchienne, Nivelles, Gosselies, Mouscron, Ollignies, Ghislenghien, Jemappes, Namur) mais on devrait atteindre 100 unités fin 2017.

En juin 2016, un cadre juridique, visant à soutenir l'installation de points de fourniture de gaz naturel comprimé en Wallonie, a précisé les conditions d'installation et d'exploitation à inclure dans le permis d'environnement (dispositions en matière d'implantation, de construction, d'exploitation, d'entretien et de surveillance).

L'installation d'un point d'approvisionnement peut être effectuée par un particulier à son domicile, par une société pour sa flotte d'entreprise ou par une station-service. De nombreuses stations d'approvisionnement sont privées et sont destinées à des flottes captives.

C'est le constructeur japonais Toyota qui a inventé en 1997 le principe du véhicule hybride avec la célèbre Prius.

Le véhicule « hybride à plug-in » associe également deux moteurs, mais la batterie du moteur électrique peut être rechargée à l'extérieur, par branchement sur le réseau électrique. L'autonomie en mode électrique est en conséquence plus importante et permet de parcourir de 20 à 60 kilomètres. Il est donc possible d'utiliser le véhicule en mode tout électrique pour les courts trajets.

Le véhicule hybride

Principe

Le véhicule hybride classique possède deux moteurs. Il combine un moteur thermique (diesel ou essence) et un moteur électrique. La manière dont travaillent ces moteurs peut être agencée et gérée de différentes manières.

Avec un système « full hybrid », appelé aussi « hybride direct », le véhicule est capable de rouler en mode électrique seul. Le moteur électrique est utilisé au démarrage du véhicule et à vitesse réduite. Lorsque la charge de la batterie devient trop faible, le moteur thermique prend le relais. La batterie se recharge pendant les périodes de décélération. En effet, l'énergie habituellement perdue lors des freinages est en partie récupérée, stockée, et alimente le moteur électrique pour les accélérations suivantes. Cette aide électrique allège le travail du moteur thermique et diminue sa consommation et les émissions.

Impact sur l'environnement

L'économie d'émissions du modèle « hybride direct » est estimée entre 10 et 50 % d'un véhicule à moteur thermique. Quant au modèle à « plug-in », l'économie est évidemment proportionnelle à l'utilisation en mode électrique.

Il est donc difficile de déterminer les réductions d'émissions d'un véhicule hybride, tant la fourchette peut être large.

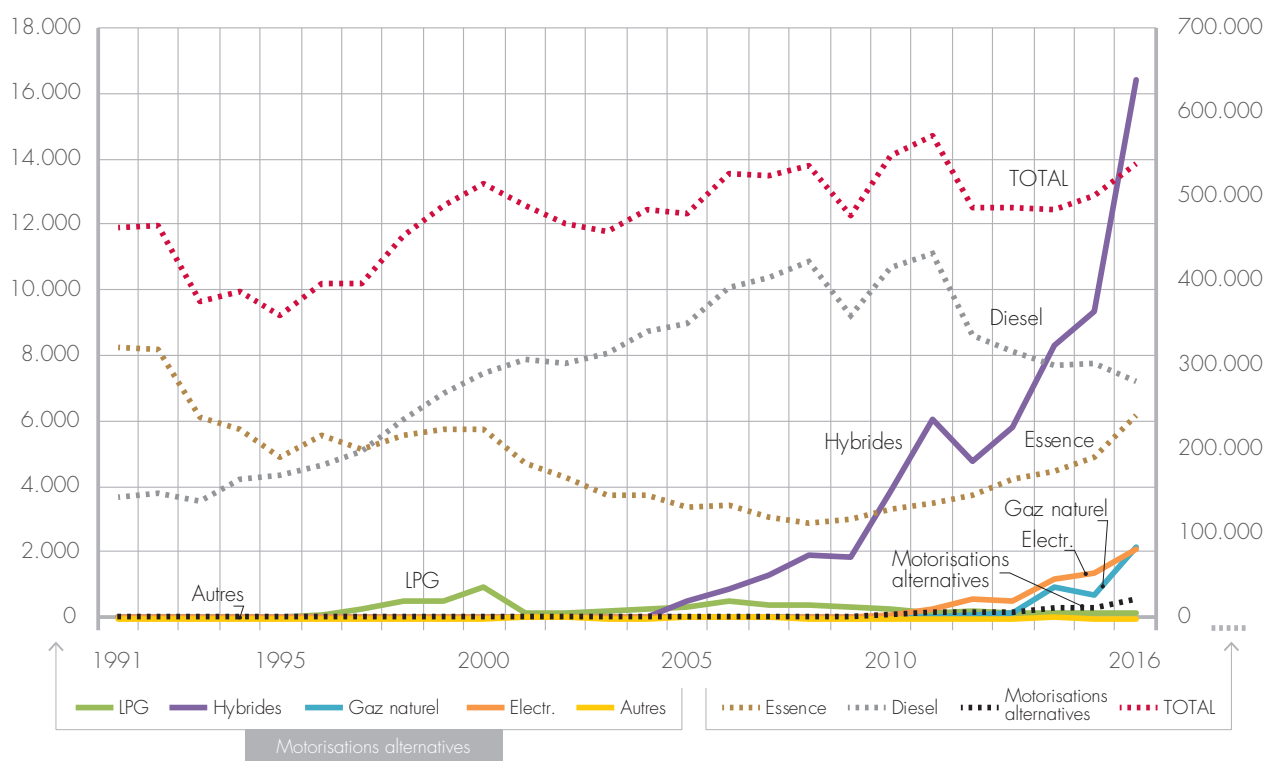
En effet, tout dépend de la fréquence d'utilisation du moteur électrique, de la longueur des trajets, de la fréquence des charges électriques pour les modèle plug-in, mais aussi de la manière de conduire du chauffeur.

Contraintes

Avec une double motorisation, les contraintes sont faibles. Toutefois, la présence de deux moteurs rend ces véhicules un peu plus coûteux et plus lourds que les véhicules à une seule motorisation.



> Perspectives pour la voiture du futur



Immatriculations de voitures neuves par type de carburant.
Source : SPF Mobilité & Transports - FEBIAC.

Si les statistiques d'achat montrent encore de très nettes réserves vis-à-vis des voitures neuves hors essence et diesel, le sujet est parfaitement dans l'air du temps et, par ailleurs, souvent associé à des réflexions sur l'avenir des mobilités partagées.

Tous les constructeurs automobiles investissent dans l'amélioration des motorisations existantes et le développement d'alternatives. Cependant, si le consommateur est de plus en plus conscient de l'urgence climatique, il n'est pas encore prêt à payer 10 000 ou 15 000 € de plus pour une voiture vendue comme plus respectueuse de l'environnement sans même une parfaite garantie quant à ses impacts. Le scandale du dieselgate a fortement ébranlé la confiance des consommateurs.

La voiture 100 % électrique

Elle est équipée d'un ou de plusieurs moteurs électriques dont la puissance varie de 15 kW à 400 kW. Une batterie fournit l'énergie accumulée lors de sa recharge depuis une source électrique. Selon les véhicules, l'énergie provenant de la décélération peut également être utilisée.

La capacité des batteries varie de 15 à 200 kWh et l'autonomie moyenne est de 150 kilomètres pour une batterie de 30 kWh, à nuancer en fonction du type de conduite, de l'utilisation du chauffage ou de la climatisation et d'autres accessoires. L'architecture et la capacité des nouvelles batteries ont permis une

amélioration des performances en quelques années, pour passer de +/3 à 5 km/kWh.

Les constructeurs annoncent une autonomie de 300 kilomètres, voire de 450 à 600 kilomètres à l'horizon 2020 selon les modèles.

Le temps de recharge est d'environ 8 heures, sous 220 V et pour des capacités de 25 à 30 kWh. Des équipementiers proposent des « Fast Charging ». La Tesla possède ainsi un système de chargement rapide qui lui confère 240 kilomètres d'autonomie en une demi-heure.

À l'heure actuelle, comme pour les autres véhicules électriques, la batterie pose globalement un problème de poids, de coût, de temps de charge et de disponibilité de station. Certains constructeurs automobiles proposent en option la location de la batterie.

La production et le recyclage des batteries des voitures électriques posent un certain nombre de problèmes. Le lithium est utilisé pour les batteries des véhicules mais aussi pour leurs équipements informatiques et électroniques, ce qui accroît la pression sur ce métal rare. Il provient souvent d'Amérique latine. Sa production nécessite beaucoup d'eau et met à mal les écosystèmes et la survie des populations dans des zones où la sécheresse est problématique. Des recherches se poursuivent pour la mise au point de batteries sans lithium, plus efficaces, dont la durée de vie est plus longue et utilisant des matériaux moins polluants.

La vente de voitures électriques est en augmentation. Si au départ elle concernait d'abord des flottes captives et des flottes d'entreprises, aujourd'hui elle commence doucement à intéresser le particulier. On la retrouve également dans les flottes de voitures partagées. Citons l'exemple de Zen Car à Bruxelles, Auto lib à Paris.

Des chiffres exceptionnels de vente de voitures électriques sont enregistrés en Norvège. Ils sont dus à une politique très incitative en la matière.

En juin 2017, on enregistre 888 stations de charge publiques en Belgique¹. Sur un parc de 5194 voitures électriques en 2016, 3732 concernent la Flandre, 737 Bruxelles et 725 la Wallonie².

	2013		2014		2015		2016	
Belgique	500	0,1 %	1166	0,2 %	1360	0,3 %	2161	0,3 %
France	8779	0,5 %	10560	0,6 %	17266	0,9 %	21758	1,1 %
Norvège	7882	5,5 %	18990	12,5 %	25779	17,1 %	24221	15,7 %
Suisse	1392	0,5 %	1948	0,6 %	3882	1,2 %	3525	1,1 %

Immatriculation de voitures particulières.
Source : SPF, CCFA, Bilsalget, Statistique suisse.

1 Source : ChargeMap
2 Source : Febiac

■ La Bluecar - Histoire d'un succès ?

Depuis 2013, la Bluecar propose un modèle à quatre places à la vente. Il est commercialisé sur Internet et par un réseau de distributeurs locaux. Le prix annoncé est de 12 000 €, tenant compte en France de la prime d'État de 6 300 € pour l'achat d'un véhicule électrique. Le récent super bonus écologique (10 000 € si en outre l'acquéreur se sépare d'un véhicule diesel de plus de dix ans) permet d'acquérir la Bluecar pour 8 300 €.

Le véhicule est disponible en location longue durée pour 20 mois renouvelable, moyennant 500 €/mois à Paris et 450 €/mois en province. Le constructeur propose une location de la batterie à 79 € par mois (kilométrage illimité). La batterie est échangée gratuitement après 400 000 kilomètres. Il faut compter également l'achat du câble électrique en supplément (non compris dans la vente de la voiture) - 700 € et/ou le montage d'une Bluebox à 995 € (installation comprise).

L'autonomie annoncée est de 250 kilomètres en cycle urbain et de 150 kilomètres en cycle mixte extra-urbain. Une interface pourrait être conçue pour visualiser à distance l'état de charge de la batterie du véhicule via un smartphone. La vitesse maximale de la voiture est bridée à 107 km/h.

Fin 2014, le groupe Bolloré a déposé un dossier au ministère de l'économie pour déployer 16 000 points de charge publics destinés aux véhicules électriques et hybrides en France.

Depuis fin 2011, la voiture est utilisée en libre-service via le service Autolib' à Paris. Elle est disponible aujourd'hui sur près de 100 communes de l'agglomération parisienne. D'autres villes ont introduit ce type de véhicule en autopartage : Lyon, Bordeaux, Arcachon, Rome, Turin...



Bluecar. Source : Bluecar.fr.



Les stations de charge

La disponibilité des stations de recharge reste une tâche à mettre en œuvre. À ce jour, elles sont encore trop peu nombreuses. L'Europe demande à chaque Etat membre de prendre des dispositions pour assurer l'approvisionnement et d'élaborer un Plan. Qui se chargera de créer ces dispositifs d'approvisionnement ? Les Régions ? Les villes et les communes ? Le secteur privé semble également concerné.

Où faut-il les installer ? Quel sera l'impact, à terme, sur la demande d'électricité ? La réponse à ces questions n'est pas encore claire. Sachant que les batteries de nombreux véhicules sont rechargées sur domaine privé, la question d'un déploiement systématique se pose. En effet, 85 % des déplacements sont inférieurs à 15 km. Des solutions adaptées doivent être envisagées.

TYPE DE BORNE	PUISSANCE	COÛT
installation murale	22kW	+/- 4000 E
station fixe bi-prise		+/- 10 000 E
fast charge. raccordement		jusqu'à 40 000 E

Estimation du coût d'une borne (raccordement compris). Source : ADEME.

TYPE DE RECHARGE	LENTE	NORMALE		SEMI-RAPIDE		RAPIDE	
	MODE 2	MODE 3		MODE 3		MODE 3	MODE 4
Réseau	monophasé 230V			triphasé 400V			courant continu
Courant de recharge	8A	16A	32A	16A	32A	63A	120A
Puissance	2kW	3kW	7kW	11kW	22kW	43kW	50kW
Temps nécessaire à la recharge complète	12H	6H	3H	2H	1H	50min	20 à 30min

Temps de recharge pour un véhicule électrique. Exemple pour un véhicule doté d'une batterie de capacité de 22KWh avec une autonomie de 150km
Source : ADEME.

SWIFT fait le pari de la mobilité électrique

Dans le cadre de son plan de mobilité, qui comporte un objectif de verdurisation de sa flotte automobile, Swift a mis en service 21 BMW i3, équipées d'un prolongateur d'autonomie. Cette voiture offre une autonomie allant jusqu'à 300 kilomètres. Les utilisateurs de ces voitures pourront emprunter une voiture traditionnelle pendant 30 jours au cours de l'année. La flotte comprend aussi 2 Tesla, 2 utilitaires électriques et une trentaine de véhicules hybrides plug-in.

Plusieurs bornes de chargement ont été installées par Cofely sur le site de SWIFT, ainsi qu'une vingtaine au domicile du personnel concerné. Le système permet une charge plus rapide via un matériel sécurisé, une programmation horaire et une gestion à distance. En effet, lorsqu'un employé arrive à la borne, il indique à quelle heure il doit partir et de quelle autonomie il souhaite disposer. De cette façon, le chargement de l'ensemble des véhicules peut être optimisé. L'utilisateur reçoit en outre une notification par SMS ou par e-mail lorsque son véhicule est chargé, pour ainsi libérer la place pour une autre voiture.



Station de charge. Source : SWIFT.

Usage

Compte tenu des limites d'autonomie actuelles, la voiture électrique à batteries trouve en particulier sa place dans les flottes captives, qui effectuent de nombreux petits trajets et pour des trajets pas trop longs.

Si l'efficacité des batteries évolue rapidement, cette préoccupation reste d'actualité. Entre 2008 et 2015, les batteries ont multiplié par cinq leur efficacité. Dans le même temps, leur prix a chuté et a été divisé par quatre. Et tout indique que leur performance va encore s'améliorer.

Consommation

La plupart des voitures électriques parcourent entre 40 et 50 kilomètres avec 10 kWh. Ce qui les rend peu gourmandes, c'est leur faible perte d'énergie. Car si les moteurs à essence ou au diesel convertissent, en conditions théoriques, maximum 35 % de cette énergie en force motrice, une voiture électrique atteint les 90 %, en conditions théoriques également, donc un peu moins en conditions réelles.

Le coût en électricité pour parcourir 100 kilomètres reste largement en dessous des 3 € (voire 2 € pour certaines voitures). Tant que des accises ne sont pas appliquées, il est donc bien moins élevé que celui des moteurs à combustion pour une même distance. À noter toutefois qu'il sera extrêmement compliqué d'appliquer des accises compte tenu du caractère particulier de l'approvisionnement (domaine privé).

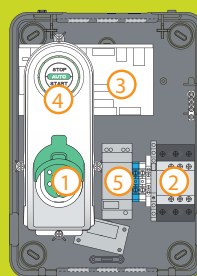
■ Un réseau de recharge standardisé initié par les constructeurs automobiles

Les constructeurs allemands (BMW, Daimler, Porsche, Audi, Ford) ont annoncé la création d'une coentreprise destinée à installer un réseau européen de recharges rapides d'ici à 2020. La Belgique bénéficiera de ce réseau qui sera sans doute réservé aux marques bénéficiaires allemandes.

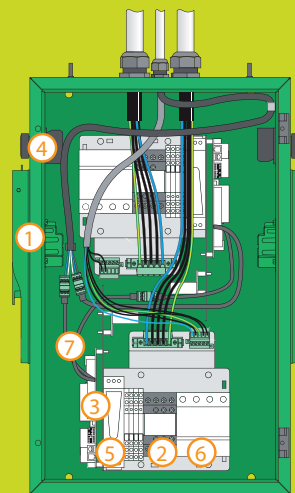
Dès cette année, des bornes devraient apparaître sur 400 sites et être accessibles à tous les véhicules électriques ou hybrides rechargeables au standard CCS (pour «combined charging system»), quelle que soit leur marque.

Aujourd'hui, on compte 12 000 stations de recharge en Hollande pour 17 millions d'habitants, 10 000 en France pour 60 millions d'habitants et environ 1 000 en Belgique pour 11 millions d'habitants. Le marché des véhicules électriques y est encore très modeste.

- 1 Socle(s) de prise
- 2 Contacteur
- 3 Carte électronique contrôleur
- 4 Boutons de commande
- 5 Alimentation 24 V
- 6 Parafoudre
- 7 Communication



EVlink Résidentiel



EVlink Parking (avec 2 socles de prise)



Les bornes autonomes

Les grappes de bornes

Les architectures de recharge

Pour répondre aux spécificités de chaque installation, il existe deux types d'architecture de recharge : les bornes autonomes et les grappes de bornes avec coffret de gestion de l'énergie.

• Les bornes autonomes

Ces bornes assurent la recharge des véhicules électriques de manière indépendante. Chaque borne est directement raccordée à un tableau électrique d'alimentation et de protection.

• Les grappes de bornes

Lorsque plusieurs bornes sont nécessaires, celles-ci peuvent, soit fonctionner de manière indépendante comme des bornes autonomes, soit être associées à un système de distribution et de gestion centralisée (coffret de gestion). Ce système a pour principales fonctions d'assurer l'alimentation électrique, la protection et la gestion du fonctionnement de la grappe de bornes en fonction des besoins des utilisateurs et de l'installation.

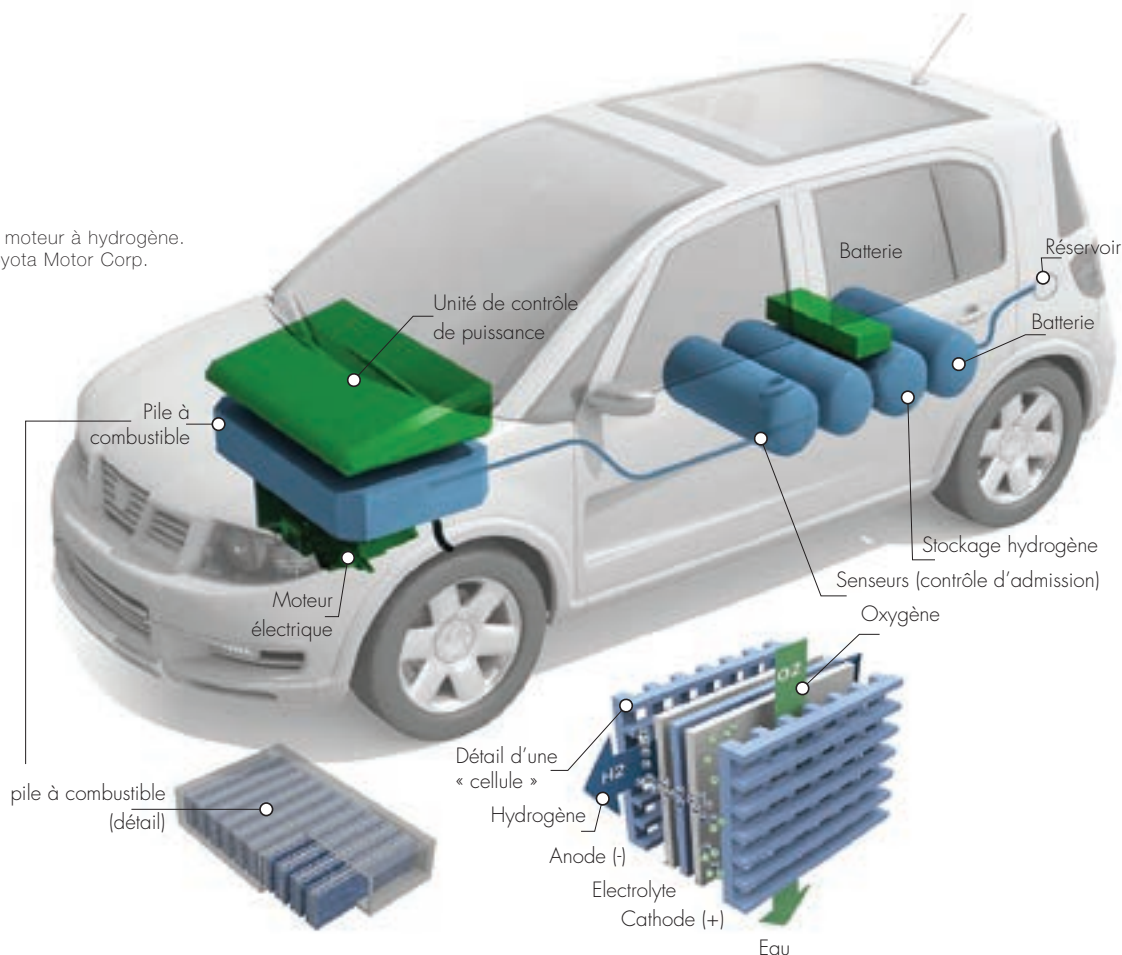
Les bornes de recharge

Bien plus qu'une simple prise d'alimentation électrique, la borne de recharge permet de réaliser la recharge du véhicule électrique en toute sécurité avec une efficacité maximale.

- Contrairement à une prise domestique, qui n'intègre aucune fonction spécifique, la borne de recharge pour véhicules électriques est conçue spécialement pour cette opération. Pour cela, elle rassemble un équipement de commande ainsi qu'un socle de prise spécifique ou un câble attaché.
- Ce dispositif permet d'établir l'alimentation électrique de puissance vers le véhicule, il est composé d'un contacteur et d'une carte électronique ainsi que de divers équipements selon les modèles (parafoudres, alimentation, etc.).
- L'utilisateur dispose également de boutons poussoirs ou éventuellement d'un écran d'information LCD pour gérer le fonctionnement de la borne.

Source : Schröder électric.

Principe du moteur à hydrogène.
Source : Toyota Motor Corp.



La voiture électrique à pile à hydrogène

Trois solutions différentes ont été développées :

- des modèles tout hydrogène ou « full power » : la pile à hydrogène alimente directement le moteur électrique de propulsion ;
- des modèles hybrides ou « mid range » : la pile à hydrogène fournit de l'électricité qui est utilisée par le moteur ou pour recharger une batterie de capacité limitée ;
- des modèles à prolongateur d'autonomie ou « range extender » : la pile à hydrogène recharge la batterie d'un véhicule électrique et assure éventuellement le chauffage de l'habitacle.

Faire le plein demande 3 à 5 minutes pour une autonomie de 400 à 700 kilomètres.

Développement

La part de marché peut être considérée comme nulle à ce jour. Toutefois, plusieurs constructeurs automobiles, en particulier les asiatiques, investissent dans le développement de cette technologie.

Depuis une dizaine d'années, divers prototypes intégrant cette technologie sont proposés par Michelin, Renault, Toyota, Hyundai, Honda ou encore Mercedes. Ainsi, Toyota commercialise la Mirai depuis fin 2014 au Japon, en 2015 aux Etats-Unis puis en Europe. Hyundai est très présent également.

Contraintes

Le système présente encore un faible rendement et un coût élevé. Cependant, l'hydrogène doit d'abord être mis en comparaison avec des moteurs thermiques, étant donné son potentiel à faire rouler des véhicules sur une distance avec un poids donné. 1kg d'hydrogène permet de faire 100 kilomètres. Quel que soit le rendement de la pile, le minimum est le ratio 1kg/100km. Une comparaison est donc plus pertinente avec le standard 5l/100km du diesel. Cependant, l'hydrogène reste cher puisqu'on le trouve à +/- 10 €/kg. La rupture sera possible pour un coût de l'hydrogène à 6 € environ.

Le coût des stations de fourniture d'hydrogène constitue aussi un réel frein au développement de la voiture à l'hydrogène. Une borne de chargement rapide de batterie coûte 20 fois moins cher qu'une station d'hydrogène, mais cette comparaison a ses limites...



Source : SWIFT.

■ Des taxis à l'hydrogène à Paris

La Société du taxi électrique parisien (STEP) propose à ses clients le service de taxi HYPE, composé d'une flotte de douze voitures Hyundai dotées de piles à combustible. On les reconnaît à leur peinture bleu ciel recouverte de nuages blancs. Une soixantaine de nouvelles unités devraient rejoindre les premières. Une station d'hydrogène a été installée sur le parking du pont de l'Alma. Un plein de 50 € permet de parcourir 500 kilomètres. Le véhicule coûte 66 000 € taxes comprises.

Ces initiatives sont possibles grâce à des partenariats avec des industriels du secteur de l'énergie comme Air liquide.

En savoir plus : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/caisse-depots-actionnaire-hype-taxis-paris-hydrogene-29397.php4>

■ BeeZero, opérateur d'autopartage à Munich

Acteur majeur de la production d'hydrogène dans le monde aux côtés du français Air Liquide, le groupe Linde propose 50 Hyundai ix35 Fuel Cell qui offrent une autonomie de 400 kilomètres et nécessitent un temps de recharge de 3 minutes. Elles sont disponibles au centre-ville de Munich et dans les villes avoisinantes (Schwabing, Haidhausen, Au et Glockenbachviertel).

Le groupe a annoncé qu'en cas de succès du service proposé, ce dernier pourrait être déployé dans d'autres grandes villes outre-Rhin.

Alimentée par du dihydrogène produit à partir d'électricité d'origine renouvelable, la flotte s'élargira alors à la Honda Clarity – commercialisée dans quelques pays européens prochainement – et à la Toyota Mirai.

Avec cette expérimentation, le groupe a pour objectif de mieux connaître les besoins des conducteurs de modèles à hydrogène afin de déployer de façon optimale ses futures infrastructures de charge.

À noter que les pleins de dihydrogène sont effectués par des employés du service d'autopartage et non par les clients eux-mêmes.



Source : captale.fr – Joseph Melin.





■ Des véhicules au biogaz à Zurich

Energie 360° est une société suisse qui propose des solutions écologiques dans le domaine de l'énergie et assure la diffusion en Suisse du gaz naturel et du biogaz. À Zurich, 90 voitures et véhicules utilitaires de cette société fonctionnent au biogaz. Ils représentent 80 % de la flotte. Les 20 % restants sont entre autres constitués de véhicules électriques.

👁 Zurich : la société Energie 360° s'engage dans l'écomobilité avec une participation à GOFAST dont le but est de créer une infrastructure de recharge à haute puissance. Source : Presseportal.ch.

La voiture au gaz naturel

Les voitures disponibles en Europe sont des véhicules bi carburés, brûlant un seul combustible à la fois. Elles fonctionnent donc indifféremment à l'essence ou au gaz naturel. Le conducteur choisit, par le biais d'un interrupteur. De nombreux constructeurs proposent ces véhicules : Citroën, Fiat, Honda, Opel, Peugeot, Toyota, VW...

Tout véhicule à essence peut aussi être converti a posteriori de manière à pouvoir rouler aussi au gaz naturel. Un réservoir est placé dans le coffre. L'adaptation coûte entre 2 000 et 4 000 €, selon le modèle de voiture.

Lorsque la bicarburant est prévue lors de la construction du véhicule, le réservoir est placé sous la carrosserie.

La présence de ce type de véhicule varie très fort selon les pays. En 2013, les plus équipés en voitures fonctionnant au CNG étaient le Pakistan (3 millions), l'Iran (2,9 millions), l'Argentine (2,1 millions) et le Brésil (1,7 millions).

Usage

Compte tenu du nombre encore limité de stations d'approvisionnement, la voiture au gaz naturel trouve d'abord sa place dans les flottes captives qui effectuent de nombreux petits trajets et peuvent être approvisionnées à l'aide d'une arrivée de gaz équipée d'un compresseur adapté.

Certaines entreprises s'engagent en faveur de l'utilisation du gaz naturel pour leurs voitures de service.

Consommation

Les véhicules roulant au CNG permettent de réduire les frais de carburant, avec un prix moyen de 0,85 € (gaz L) à 1 € (gaz H) le litre contre 1,2 € pour le diesel et 1,3 € pour l'Euro95 sous réserve d'une évolution des accises et du coût des énergies. La consommation moyenne est un peu plus faible.

L'autonomie est de 600 kilomètres par plein avec du CNG seul et atteint 1 000 kilomètres en alternance avec l'essence (en fonction du type de véhicule).

La combustion étant plus propre, les frais d'entretien sont réduits et la durée de vie du véhicule est augmentée.

La voiture hybride

L'hybride classique

De plus en plus de modèles de voitures proposent une motorisation hybride. Pour consommer moins, elles combinent donc un moteur thermique classique (essence ou diesel) et un moteur électrique.

À faible vitesse, une voiture hybride consomme uniquement de l'électricité, à vitesse plus élevée, l'essence ou le diesel prend le relais. Pendant ce temps, la batterie se recharge. L'avantage réside dans la consommation, plus économique que celle des véhicules équipés d'un moteur à essence ou au diesel seul, les émissions sont plus faibles, la fiabilité est élevée et les coûts d'entretien réduits. Le moteur électrique ne demande pas d'entretien et le moteur thermique est moins sollicité que celui d'un véhicule traditionnel. Les batteries et le moteur électrique alourdissent le véhicule et grèvent parfois le volume du coffre. Par ailleurs, les hybrides sont rarement autorisés à tracter un attelage lourd (caravane) car le moteur électrique est trop faible.

L'inconvénient majeur reste le prix d'achat. De plus, deux moteurs signifient un poids plus important et un double coût énergétique de fabrication.

Dans les faits, il n'exprime son potentiel qu'en ville, car il redevient un véhicule à essence ou au diesel sur autoroute. L'économie d'émissions varie ainsi, selon l'usage, entre 10% et 50%.

Le véhicule hybride constitue une possibilité intéressante pour des déplacements nombreux, totalisant un minimum 35 000 kilomètres par an. Il convient particulièrement aux conducteurs circulant beaucoup en ville ou dans une circulation très dense.

Hybride Plug-In

C'est une formule de plus en plus utilisée par les constructeurs. Elle est beaucoup plus récente. Le principe de fonctionnement est similaire à celui des hybrides classiques, mais les batteries sont rechargeables sur secteur en 2 heures en moyenne, à nuancer en fonction des batteries, via une simple prise de courant. L'autonomie en mode tout électrique est plus élevée (en moyenne également dix fois) pour autant que l'utilisateur recharge régulièrement la batterie pour l'exploiter au maximum.

La consommation est très réduite, voire nulle sur de courts trajets. Le système est fiable.

Ce véhicule est encore cher à l'achat : comparable à un véhicule électrique, voire plus cher. Les batteries pénalisent souvent le volume du coffre et la masse est élevée.

Consommation

La voiture hybride est intéressante d'un point de vue environnemental à certaines conditions. Sa consommation varie en fonction du choix du véhicule et de son utilisation.

La consommation d'énergie d'un véhicule est directement liée à son poids. Or, un véhicule hybride est en surpoids en raison du moteur électrique et des batteries s'ajoutant au moteur thermique. Pour être compétitif, il est donc nécessaire d'être attentif, lors de l'achat, au poids du véhicule, ensuite de rouler le plus souvent possible en mode électrique, à vitesse modérée, et bien entendu de ne pas oublier de recharger les batteries.



Fonctionnement d'une voiture hybride. Source : i0.wp.com.



> Des tests et des stratégies pour les flottes de bus

La préoccupation environnementale a conduit les sociétés de transport en commun à s'intéresser de plus près aux motorisations alternatives et à annoncer des « plans » visant un renouvellement de leur flotte, à un horizon plus ou moins proche, en faveur de véhicules propres, zéro émission, décarboné...

Electrique, gaz, hybride, toutes font leur marché mais y vont relativement progressivement car les investissements sont conséquents, conduisent à des modifications non négligeables en termes d'exploitation des réseaux et d'entretien des véhicules. Tests grandeurs nature, vérifications sont au programme. Par ailleurs, des évolutions technologiques importantes modifient encore l'offre de matériel.

Vers quelle solution se tourner ? Quel constructeur faut-il choisir ? Quelle deadline envisager pour être réaliste, quand on sait qu'en moyenne les véhicules ont une durée moyenne d'exploitation de 15 ans.

C'est parfois, voire souvent, vers un mix que se dirigent les exploitants, car chaque système a son propre champ de pertinence et toutes les lignes n'ont pas les mêmes caractéristiques et les mêmes besoins. Et les villes et régions concernées ont aussi leurs spécificités et leurs contraintes.

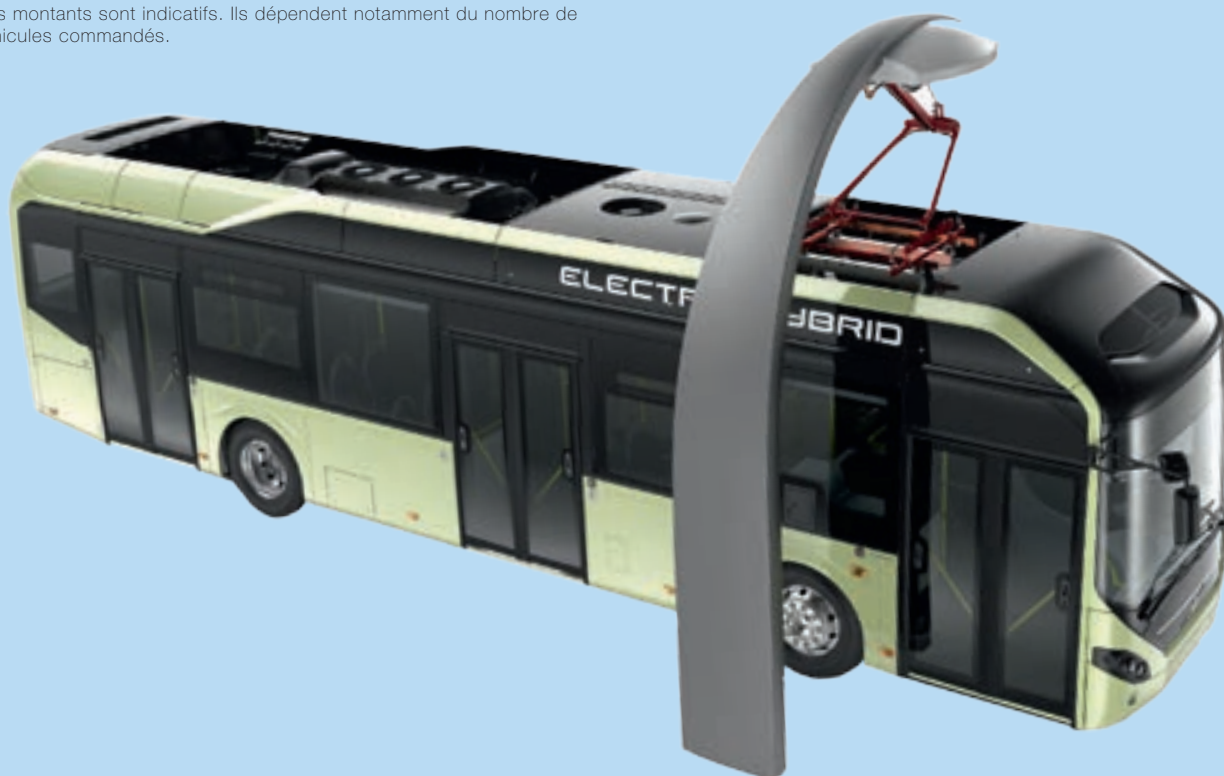
Les premières alternatives aux bus à moteurs thermiques sont hybrides. Elles combinent un moteur thermique et un moteur électrique, et permettent de réaliser des économies de diesel de 10 à 30 %. Ces véhicules hybrides utilisent la technologie de récupération de l'énergie lors des décélérations et des freinages, et certains sont également rechargeables.

Ces dernières années, les bus 100 % électriques sont revenus en force sur le marché, à la faveur des avancées technologiques et des préoccupations environnementales. Enfin, autre alternative aux moteurs diesel : le gaz naturel.

TYPE DE BUS	COÛT D'ACHAT MOYEN
100 % électrique à batteries	500 000 € HT (dont 200 000 € de batteries)
électrique hydrogène	650 000 € HT
hybride	360 000 € HT
gaz CNG	300 000 € HT
diesel standard	250 000 € HT

Ces montants sont indicatifs. Ils dépendent notamment du nombre de véhicules commandés.

Le coût d'un bus doit ensuite être pondéré en fonction des frais d'entretien et de maintenance d'une part, de la consommation énergétique d'autre part, afin d'obtenir un coût d'exploitation. Un bus électrique à batterie présente peu de frais d'entretien et d'énergie, un bus hybride a un coût de maintenance un peu plus élevé que les autres en raison de sa double motorisation.



Bus hybride. Source : Luxuriant magazine.



Minibus autonome (sans chauffeur). Source : epoo.

■ En Finlande, trois minibus électriques sans chauffeur

À Helsinki, Espoo et Tampere, des minibus autonomes sont en test, mais circulent dans des conditions réelles, au milieu des autres automobilistes. Ils peuvent accueillir 9 passagers et leur vitesse est limitée à 40 km/h. Leur autonomie est de 100 kilomètres.

Si le test est concluant, la Finlande espère développer ce système dans les grandes villes du pays. L'objectif est de compléter l'offre en transport en commun. Il n'y a pas d'obstacle juridique pour la circulation de véhicules sans chauffeur, contrairement à d'autres pays européens qui relèvent de la convention de Vienne.

■ À Eindhoven, 43 bus électriques

Depuis la fin 2016, Eindhoven possède une des plus grandes flottes de bus électriques d'Europe, avec 43 véhicules (VDL Citea's SLFA electric). Il s'agit de bus électriques de 18,1 m conçus avec un design de BRT (Bus Rapid Transit). Les bus disposent d'une autonomie d'une journée. Sur certaines lignes, ils circulent avec une fréquence élevée, comme celle d'un tram. Ces lignes à haute fréquence desservent l'aéroport d'Eindhoven ou le Campus High Tech. Le service est assuré sur la base du système « show up and go ».

L'objectif est d'effectuer une transition vers un transport public « zéro émission » au cours de la période 2015-2025 sur la province et que le réseau de bus d'Eindhoven soit totalement électrique en 2020.



VDL Citea SLFA Electric en service dans la région d'Eindhoven. Source : vdlbuscoach.com.

Le bus 100 % électrique

Pour la circulation des autobus, l'électricité possède un certain nombre d'atouts. En effet, leur parcours étant calibré à l'avance, le rechargement des batteries peut être géré au mieux. De plus, leur autonomie peut assurer une desserte urbaine sans avoir besoin de recharge durant la journée. Elle dépasse 100 kilomètres. Elle est encore augmentée grâce au système de récupération de l'énergie lors des phases de décélération ou de freinage qui y contribuerait pour 20 %. Leur puissance leur permet d'atteindre une vitesse de 70 km/h.

Les nouveaux bus à « supercondensateurs » peuvent être rechargés rapidement. Ils se connectent quelques secondes à une prise située à l'arrêt pendant le temps de chargement-déchargement des passagers. Fonctionnelle en Chine, cette solution est en test en France. Elle nécessite des investissements supplémentaires, puisque des bornes de recharge doivent être installées sur le parcours, mais à terme, elles pourront alimenter toute la flotte.

Un bus électrique, sur 14 à 17 ans de service, reviendrait au même prix qu'un bus thermique. Au kilomètre le coût du bus électrique est estimé à 0,1 euro, celui du bus diesel à 0,58 euro, au prix actuel des énergies.



Les grands constructeurs traditionnels européens ont fortement investi dans le développement des bus diesel à la norme Euro 6, des bus au gaz et des bus hybrides. L'offre de bus électrique est donc le fait de nouveaux acteurs : Bolloré, Ebusco, Yutong, Solaris... La RATP, ayant annoncé, d'ici 2025, la conversion de 80 % de ses 4500 bus en véhicules électriques, pourrait booster le marché.

■ À Paris : la ligne 341 totalement électrique

23 premiers bus électriques Bluebus sont affectés à une même ligne - ligne 341 : Porte de Clignancourt – Etoile – désormais toute électrique. Ces bus de 12 m peuvent accueillir 90 personnes. Ils sont équipés de 8 batteries lithium-métal polymère, pouvant stocker 240 kWh, soit une autonomie comprise entre 180 et 250 kilomètres. Ils sont chargés de nuit lors des périodes de plus faible demande électrique.

La RATP a aussi commandé 20 bus électriques standard Bluebus, l'objectif étant, pour dix d'entre eux de tester un système de recharge au terminus par pantographe, les dix autres chargés par simple prise électrique.

Ces initiatives s'inscrivent dans le projet « Bus 2025 » qui vise à supprimer, d'ici cette date, les bus au diesel et à les remplacer à 80 % par des bus électriques (soit 3 600 véhicules) et à 20 % (près de 900 véhicules) par des bus roulant au CNG.



Paris : Bluebus SE. Source : france3-regions.fr.

■ Des minibus sans chauffeur à La Rochelle

Dans le cadre du projet européen Citymobil 2, six minibus sans chauffeur ont effectué près de 15 000 voyages durant une période de quatre mois. À propulsion 100 % électrique, ces véhicules mesurent 5 mètres de long et 1,50 mètre de large, et peuvent transporter jusqu'à 10 personnes. Leur vitesse dans l'espace public ne peut dépasser 15 km/h. Elle a été réduite à 8 km/h pendant la phase de test afin d'éviter tout incident avec les touristes.

Ces bus robot conçus par le constructeur français Robosoft sont connectés à des systèmes de contrôle qui permettent de les piloter et de vérifier leur bon comportement. Ils sont équipés d'un GPS et d'un système de cartographie laser pour se repérer et se déplacer, d'un laser ainsi que des ultrasons pour détecter les obstacles à l'avant et sur les côtés (vélos, piétons, voiture sortant d'un stationnement...).

En France, la circulation de véhicules sans chauffeur est interdite en vertu de la Convention de Vienne. Un opérateur a ainsi été placé dans chaque navette pour sensibiliser le public sur l'expérimentation et de recueillir tous les retours d'expérience liés au fonctionnement des navettes (anomalies...) et à son acceptation sociale.

La Rochelle a été autorisée à faire rouler ces bus dans le cadre d'une dérogation spécifique à l'expérience européenne de recherche et de démonstration Citymobil. Celle-ci vise à intégrer et à exploiter des systèmes de transport automatisé dans l'environnement urbain pour lutter contre la congestion des villes.

Source : www.agglo-larochelle.fr/citymobil-2.



La Rochelle : minibus sans chauffeur Citymobil 2. Source : 20minutes.fr.

■ NAM'IN MOVE inaugure les bus hybrides en Wallonie

En janvier 2017, 11 autobus standard hybrides électriques (Volvo 7900 hybride électrique) ont rejoint la flotte du TEC Namur-Luxembourg. Le centre-ville de Namur est ainsi être traversé en mode zéro émission. 298 véhicules hybrides supplémentaires sont attendus en 2017, 2018 et 2019 pour l'ensemble des TEC wallons.

Ce type de véhicule roule donc au diesel et à l'électricité. Ses batteries peuvent être rechargées lors d'arrêts aux terminus équipés de pantographes. Ainsi, lorsque le bus arrive au niveau de la borne de recharge, une communication sans fil est établie et un pantographe inversé spécial s'abaisse automatiquement. Le système permet une puissance de charge de 150 kW, 300 kW ou 450 kW et fournit, en quelques minutes, l'énergie nécessaire.

L'énergie utilisée pour le rechargement est 100 % verte. Le bus se recharge aussi partiellement lors des ralentissements et en descente. Le passage en mode électrique est géré par l'ordinateur de bord sur base de la localisation GPS et de l'autonomie des batteries.

Par l'utilisation d'électricité d'origine renouvelable, on estime que ce bus hybride réduit jusqu'à 70 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à un véhicule traditionnel. La consommation de diesel est réduite jusqu'à 70 % par rapport aux véhicules classiques. La réduction des nuisances sonores et des vibrations contribue également à une amélioration du confort des usagers et des riverains habitant le long des axes empruntés.



Bus hybride. Source : TEC Namur-Luxembourg.

Le bus au gaz naturel

Le gaz naturel est à ce jour le carburant alternatif le plus répandu pour la propulsion des bus.

Pour assurer leur approvisionnement, la construction d'une station de compression est nécessaire. Celle-ci assure un remplissage lent ou rapide du bus. Dans le cas du remplissage lent (effectué de nuit), chaque emplacement de stationnement doit disposer d'une arrivée de gaz.

Le bus au gaz naturel garantit une sécurité parfaite. Le réservoir est placé en toiture dans un compartiment séparé de l'habitacle des voyageurs.

Le plus grand réseau de transport en commun au gaz naturel se trouve en Amérique du Nord. Los Angeles Metro Transit, exploite 2 200 autobus urbains au gaz naturel. Ce parc a éliminé récemment ses derniers autobus à moteur diesel. À Lille, 150 bus roulent au biogaz produit par un centre pilote de valorisation des déchets organiques (ménages, restauration publique collective et espaces verts). Nantes prévoit le remplacement total de tous ses bus au diesel par des bus au gaz naturel à l'horizon 2019-2020.

Le bus hybride

Le moteur thermique est couplé à un générateur qui alimente un moteur électrique. L'énergie du freinage est récupérée et stockée dans des supercondensateurs. Le moteur thermique se coupe à l'arrêt (start & stop). Les supercondensateurs sont sollicités lors du redémarrage, le moteur thermique se met en marche pour fournir l'énergie nécessaire au générateur lorsqu'il n'y a plus d'énergie électrique (hybrides en série).

C'est paradoxalement en dehors des centres-villes, que la technologie hybride-diesel semble donner le meilleur d'elle-même : en régénérant des quantités d'énergie beaucoup plus importantes à chaque arrêt qu'en milieu urbain dense, la technologie hybride-diesel permettrait de réaliser jusqu'à 30 % d'économie en carburant par rapport à une motorisation diesel classique, à condition d'adopter une conduite adéquate...

Ainsi, sur des lignes reliant des pôles urbains secondaires au centre-ville, cette technologie offrirait des résultats intéressants ou sur des lignes urbaines circulant en site propre intégral, sur lesquelles il est plus facile d'anticiper les phases d'accélération et de décélération pour optimiser la quantité d'énergie régénérable à chaque arrêt.

Le bilan des bus hybrides semble positif, au niveau environnemental, de la fiabilité et du coût. Leur fiabilité ainsi que les coûts de maintenance sont comparables à ceux des bus conventionnels à carburant fossile.



Le bus à pile à hydrogène

Développé, testé et exploité depuis une vingtaine d'années dans une quinzaine de pays, l'autobus à pile à combustible semble avoir atteint sa maturité. Aujourd'hui, les principaux constructeurs estiment que 500 à 1 000 nouveaux bus à hydrogène devraient être mis en service en Europe sur la période 2017-2020. C'est un début.

Avec un cofinancement européen dans le cadre du programme 3Emotion, 300 bus à hydrogène devraient être livrés en 2017 et circuler dans 10 à 15 villes, dont Cherbourg, Londres, Anvers, Rotterdam, Rome... Daimler (Mercedes) joue un rôle prépondérant dans ce projet.



Nantes : Navibus. Source : twipost.com.



■ À Nantes: le Navibus H₂

Il s'agit du premier bateau à pile à combustible de France. D'une capacité de 12 personnes et de 4 à 6 vélos pendant la phase de test, il est passé depuis août 2017 à 25 passagers et 10 vélos. Il devrait transporter de l'ordre de 80 000 personnes/an.

Doté de deux piles à combustible de 5 kW chacune, il produit, grâce à de l'hydrogène, l'électricité nécessaire à ses deux moteurs et ne rejette que de l'eau. Un seul plein suffit pour une semaine.

Sources : www.nantes.maville.com / www.nantesmetropole.fr.



Source : HyER.eu.

■ Cinq bus testés par CarPostal

Avec une autonomie de 400 kilomètres, 10 minutes de temps de recharge, une consommation de 8 kilos d'hydrogène pour 100 kilomètres (soit l'équivalent de 30 l de diesel) une fiabilité, une durée de vie et une usure comparables aux motorisations conventionnelles, les CHIC bus ont été testés par Car Postal pendant cinq années, jusqu'à la fin 2016 et ont parcouru 1,3 million de kilomètres. Ils ont été appréciés par les chauffeurs et par les passagers, en particulier pour leur confort (bruit, vibrations...). L'investissement initial était de 11 000 000 €.

CarPostal a construit sa propre station-service. Sa production de 100 kg d'H₂ a permis d'alimenter une flotte de 15 à 20 bus, avec un gaz obtenu à partir d'énergies renouvelables. Cependant, les charges de maintenance pour les compresseurs de cette station étaient élevées.

Les prix d'achat sont actuellement encore bien supérieurs à ceux d'un bus diesel ou diesel hybride. Et des surcoûts ont été observés au niveau de l'exploitation. Enfin, l'approvisionnement en pièces de rechange pour les véhicules serait devenu difficile au cours des prochaines années, car ce sont des prototypes.

Il s'agit d'un projet européen CHIC (Clean Hydrogen in European Cities).

Source : postauto.ch.

■ 260 bus à Hambourg d'ici 2026

Ils permettront le stockage des excédents d'électricité des éoliennes sous forme d'hydrogène. 4 autobus à pile à combustible circulent pour le moment et desservent la ligne 109, appelée ligne de l'innovation car sur celle-ci se déplacent tous les bus « alternatifs » testés par la société d'exploitation Hochbahn. La Ville dispose déjà de quatre stations de remplissage: deux pour des voitures de tourisme Toyota et deux pour les bus.

Il s'agit aussi d'un projet européen CHIC (Clean Hydrogen in European Cities).



Chic bus. Source : carpostal.



> Le transport de marchandises : du petit véhicule utilitaire au poids lourd

Les poids lourds doivent répondre à des normes plus contraignantes que celles des voitures et passent les tests de conformité sur route, en conditions réelles. Mais la motivation de la plupart des fabricants de camions à investir dans les technologies vertes est encore trop faible.

Si des véhicules proposant des motorisations alternatives sont disponibles sur le marché, ils sont encore très peu répandus. Les véhicules électriques pour le transport de marchandises sont chers et leur autonomie limitée. Les camions hybrides ont fait leurs preuves, en matière de réduction de la consommation de carburant, mais leur surcoût est encore un frein à leur développement. Il en est de même des camions qui roulent au CNG et au LNG. Toutefois, les préoccupations en matière de qualité de l'air, en particulier en ville, concourent à impulser un intérêt nouveau, en matière de logistique du « last mile » ou de collecte des déchets pour des véhicules propres.



Camion électrique Métropolis (modèle expérimental). Source : largus.fr.



Paris : camion au gaz. Evoluvert : charte de transport Eco-responsable. Source : lemoiteur.fr.

■ Une charte sur la logistique urbaine durable

À Paris, 15 à 20 % des déplacements concernent des marchandises. On estime que 100 000 véhicules de livraison y circulent chaque jour et effectuent environ 300 000 livraisons. Ce trafic serait responsable de 50 % des émissions dues au transport.

C'est pourquoi, la mairie a conclu une charte avec les entreprises du secteur en vue d'une réduction de 50 % des livraisons du dernier kilomètre en diesel en 2017 et de leur disparition d'ici 2020. À cette fin, elle a mis à la disposition des transporteurs des espaces logistiques dans certains parkings. La location est proposée à des tarifs préférentiels lorsque les opérateurs utilisent des véhicules à faibles émissions.

Par ailleurs, elle vient de lancer un appel à projets de logistique urbaine durable. Celui-ci porte sur la mutualisation des flux, le stockage, l'organisation et la rationalisation des livraisons, le stationnement et les véhicules.



■ À Paris : des camions électriques pour une ville propre

Ces camions bennes à motorisation électrique sont non polluants, silencieux et plus économiques. Issus de la gamme C-less (City Low Emission Silent Solution) du groupe PVI, ils disposent d'une autonomie leur permettant d'effectuer deux tournées de collecte sans recharge intermédiaire ni changement de batterie. Equipés de packs lithium-ion, ils offrent ainsi des performances opérationnelles en collecte similaires à celles des modèles thermiques.

Le prix d'une benne électrique avoisine les 250 000 € (contre 210 000 € pour un CNG) auxquels il faut ajouter 120 000 € de batteries. Le coût de maintenance est peu élevé et les véhicules possèdent une durée de vie plus longue.

Sources : www.avere-france.org / www.avem.fr.



Le véhicule utilitaire 100 % électrique

Pour développer des véhicules 100 % électriques, les constructeurs de poids lourds ont longtemps buté sur le problème du coût, des performances et de la masse énorme, propre aux camions.

Si aujourd'hui l'autonomie des poids lourds 100 % électriques reste insuffisante pour les transports à longue distance, ils sont utilisés pour les livraisons de marchandises, pour la collecte des déchets ou le nettoyage des voiries. La technologie actuelle concernant les batteries n'est au point que pour les véhicules jusqu'à 3,5 tonnes. C'est pourquoi, les véhicules industriels 100 % électriques visent essentiellement les véhicules utilitaires légers.

Ces véhicules sont pertinents pour les dessertes urbaines. En particulier, lorsqu'ils sont pris dans les embouteillages ou en double file à cause des stationnements illicites. La mise en place de plateformes logistiques permet de mutualiser les livraisons vers le centre-ville avec des véhicules propres. Les circuits vers les centres de distribution se prêtent parfaitement au rechargement des véhicules entre deux trajets.

Les véhicules électriques utilitaires actuels présentent une autonomie d'environ 150 kilomètres.

À terme, la propulsion électrique pure deviendra probablement incontournable pour certains usages, comme « le dernier kilomètre » des livraisons. En effet, l'accès aux centres urbains sera sans doute interdit aux moteurs thermiques. Le silence du mode de propulsion électrique ouvre aussi la possibilité de tournées nocturnes. L'autonomie réduite n'est pas un obstacle car les circuits des flottes de livraison sont programmés avec précision et ne sortent pas du périmètre des villes. Enfin, le retour sur investissement peut se faire sur une plus longue durée et sur un kilométrage plus élevé.

Mercedes annonce l'arrivée d'un « Urban eTruck », un poids lourd électrique d'un gros tonnage (18 et 25 tonnes), encore construit à l'unité. Il prévoit d'en fabriquer une dizaine. Ils seront mis en service en Allemagne. Ils pourraient être commercialisés dès 2020. Tesla annonce l'arrivée prochaine d'un poids lourd électrique : le « Tesla semi ».

Les experts tablent pour l'instant sur une part de marché des poids lourds électriques à hauteur de 4 % à partir de 2025 en Europe et aux États-Unis.



Le véhicule utilitaire à pile à hydrogène

L'hydrogène n'est pas une alternative à court terme pour du transport de marchandises ou pour des véhicules utilitaires, mais on estime qu'il pourrait se révéler viable au-delà de 2020. Le coût de production est encore élevé, mais en décroissance régulière. Les piles à combustible à hydrogène présentent désormais une rentabilité raisonnable pour les transports lourds, mais il n'existe actuellement aucune méthode permettant de transporter des quantités suffisantes d'hydrogène gazeux pour effectuer des trajets sur de longues distances. Leur utilisation vise actuellement des flottes captives de petits véhicules utilitaires.



Grenoble : station de charge pour véhicule à hydrogène. Source : hydrogentoday.info.

■ Des Kangoo dotées d'une pile à hydrogène

Le projet pilote « HyWay », qui regroupe de nombreux partenaires et est soutenu par l'Europe, a pour objet de favoriser, de promouvoir et de valider la pertinence technico-économique et environnementale du modèle français de déploiement de la mobilité hydrogène (H_2) pour des flottes captives. L'objectif est d'industrialiser, de produire en série et d'intégrer des kits d'hydrogène prolongateurs de l'autonomie de véhicules électriques hybrides dans des Kangoo.

Celles-ci sont alimentées par des stations de recharge d'hydrogène implantées à Grenoble et à Lyon sur des sites privés avec un accès public. Les véhicules sont achetés par des utilisateurs publics et privés. 25 véhicules Kangoo électriques sont dotées d'une pile à hydrogène. Ils constituent des flottes captives multiclients et sont approvisionnés par une station de recharge en hydrogène. Elles disposent d'une autonomie deux fois plus importante que sans pile. Nantes dispose aussi de 2 Kangoo et en prévoit 40 en 2018.

Source : presse.ademe.fr/2015/07/hyway-quand-lhydrogene-devient-carburant.html

■ Au Royaume-Uni : les supermarchés Waitrose

Cette chaîne de magasins dispose d'une flotte de 10 poids lourds qui ont été adaptés pour fonctionner au biométhane. Les véhicules sont optimisés pour le gaz, avec des réservoirs en fibre de carbone, le stockant à une pression de 250 bars. L'autonomie est de 800 kilomètres. Cependant, compte tenu du petit nombre de camions de ce type, ils coûtent actuellement 50 % de plus que le véhicule au diesel standard. Mais le coût d'utilisation est intéressant, car le biométhane y est moins taxé que le diesel. Waitrose a calculé que son investissement de départ sera rentabilisé après quelques années.

Source : www.moteurnature.com



Source : Waitrose.

■ En France: Carrefour, Intermarché, Casino

Des camions roulent au gaz naturel produit par les déchets des supermarchés.

Le groupe Casino vient d'entamer le remplacement d'une partie de sa flotte roulant au diesel. D'ici à 2020, 400 camions roulant au biométhane seront mis en circulation, soit 40 % de sa flotte actuelle. Carrefour dispose déjà d'une flotte de 200 camions roulant au biométhane circulant dans cinq grandes agglomérations : à Paris, Lyon, Bordeaux, Marseille et Lille.

Rouler au gaz d'origine biologique est un enjeu stratégique pour la grande distribution, sachant que les moteurs diesel seront à terme interdits dans les grandes villes. Il s'agit donc d'anticiper.



Source : transportissimo.com.

Le véhicule utilitaire au gaz

Avec une autonomie pouvant aller jusqu'à 500 kilomètres, les camions alimentés au CNG sont adaptés à un usage urbain et péri-urbain : distribution et livraison. Ils sont aussi utilisés pour la collecte de déchets.

Ces motorisations demandent des investissements plus lourds que pour un camion diesel : de 30 à 40 % supplémentaires à l'achat. Ce surcoût est dû notamment aux réservoirs cryogéniques, plus complexes que les réservoirs diesel, où le carburant est stocké à température ambiante. Cependant, actuellement, le carburant est moins cher. Ainsi, on estime qu'à partir de 50 000 km/an, le retour sur investissement est de 5 ans.

Le gaz naturel liquéfié, ou LNG, est la version liquide du CNG. Avec un volume réduit d'environ 600 fois, il est donc plus condensé et autorise une autonomie beaucoup plus importante – double – que le CNG : ce qui permet une utilisation dans le domaine des transports lourds et dans le domaine maritime.

Une première station publique distribuant du gaz naturel liquide pour camions a été inaugurée près d'Anvers. Celle-ci s'inscrit dans le cadre du projet européen « Blue Corridors » (lngbc.eu), qui vise à développer un réseau de stations LNG sur le continent. Cette station est équipée d'un pistolet classique destiné à l'approvisionnement des voitures particulières et des utilitaires et d'un pistolet plus gros, spécifiquement conçu pour les camions et les bus. Par ailleurs, Mattheeuws Eric Transport et Fluxys ont officiellement inauguré leur propre station de remplissage de LNG sur les terrains du transporteur à Furnes en 2014.

Compte tenu du faible nombre de stations distribuant du gaz naturel sous forme liquide, certains camions LNG sont équipés d'un système « dual fuel », c'est-à-dire d'un second réservoir CNG permettant de disposer de 150 kilomètres d'autonomie supplémentaire. Celui-ci sert essentiellement de réservoir de dépannage.

Aux États-Unis, plus de 3 000 camions à ordures au gaz naturel sont en service. Ils sont alimentés par du CNG ou par du LNG.



Le véhicule utilitaire hybride

Le principe est toujours le même. L'enjeu est de récupérer l'énergie cinétique due au freinage et à la décélération pour la réutiliser au démarrage et à l'accélération. Généralement, cette énergie est transformée en électricité par un moteur-alternateur placé entre le bloc moteur et la boîte de vitesse. Elle est stockée dans des batteries, puis utilisée pour accompagner l'effort du bloc propulseur. Un ordinateur pilote le tout, décidant quand recharger la batterie ou solliciter le moteur électrique (configuration en série).

Du fait de sa masse, un camion utilise plus d'énergie qu'une voiture au démarrage et en récupère davantage au freinage. En parcours urbain, l'économie de carburant peut atteindre 15 %, voire, dans certaines conditions, dépasser 20 et même 25 %. L'économie porte aussi sur le coût d'entretien. Moins sollicités, le moteur thermique, l'embrayage, les freins s'usent moins, tandis que les composants électriques nécessitent très peu d'interventions.

La propulsion hybride semble donc adaptée aux parcours urbains, livraisons ou collecte, qui se caractérisent par une répétition de freinages et de démarrages, d'accélération et de décélération. C'est pourquoi les camions hybrides sont aujourd'hui essentiellement des véhicules de 12 à 26 tonnes, affectés à la collecte des ordures ménagères et à la desserte des commerces des centres villes.

Si la plupart des constructeurs de poids lourds ont opté pour le mode hybride électrique, certains explorent également d'autres pistes. Ainsi, le constructeur allemand MAN expérimente le camion hybride hydraulique. Utilisant une technologie largement éprouvée, ce système hybride ne nécessite pas de coûteuses batteries et simplifie la maintenance. Il consiste à convertir l'énergie cinétique du freinage en énergie hydraulique et à l'emmagasiner dans un accumulateur à haute pression contenant de l'azote. En phase d'accélération, l'énergie est restituée à l'arbre de transmission via la pompe hydraulique, soulageant d'autant le moteur diesel. Cette technique est particulièrement adaptée à la benne à ordures ménagères (BOM) en raison de ses nombreux arrêts et démarrages. La réduction de la consommation de diesel peut atteindre 15 %, voire 25 % pour le seul déplacement du véhicule. (Source : largus.fr)



Assemblage de camion hybride (électricité-diesel). Source : pinterest.



Source : Ville de Mulhouse.

■ À Mulhouse : une benne à ordure hybride diesel/électrique en test

Le choix d'une benne à ordures ménagères (BOM) hybride s'insère dans le cadre du Plan Climat de Mulhouse Alsace Agglomération (M2A) de 2009, qui vise à recourir aux technologies innovantes pour réduire les gaz à effet de serre. Un premier véhicule Renault Trucks a été éprouvé dès 2012 dans seize communes de l'agglomération dans différentes configurations : centre de Mulhouse et rues piétonnes et périphérie, avant l'achat d'autres véhicules.

Outre un gain certain de consommation pouvant aller jusqu'à 25 %, l'utilisation du mode tout électrique réduit sensiblement le bruit pour les riverains.

Source : optigede.ademe.fr.

■ En Suède : une route... électrique

À proximité de Stockholm, le réseau électrique alimente depuis juin 2016 la motorisation hybride d'un poids lourd sur un tronçon de deux kilomètres. Le véhicule est équipé d'un pantographe monté sur le châssis, à partir duquel il se connecte à la caténaire installée sur la voie de droite de l'autoroute. Scania, le constructeur suédois de poids lourds, est partenaire du projet qui est mené par le ministère suédois des transports, avec l'appui de Siemens pour la technologie de transfert de l'électricité.

Les poids lourds qui participent à ce test sont hybrides Euro 6 et roulent aux biocarburants. L'investissement consenti pour ce projet est le résultat d'un programme de marché public lancé par les autorités suédoises afin d'encourager la recherche-développement de solutions innovantes. Les tests devraient se poursuivre jusqu'en 2018, l'objectif étant d'optimiser la technologie et d'examiner la faisabilité d'un développement à grande échelle.

Source : Caradisiac.



■ Suède : camion hybride Euro 6. Source : Caradisiac.



> Quelle impulsion de la part des pouvoirs publics ?

Les politiques et les mesures produisent des effets non négligeables dans la promotion des véhicules alternatifs. Pour stimuler la vente de ces véhicules présentant des surcoûts et certains inconvénients par rapport aux véhicules thermiques, des incitants sont nécessaires. Ils doivent bien entendu s'inscrire dans une vision globale de mobilité durable, favorisant aussi une diminution de la demande de déplacement et les modes de transport alternatifs.

Deux directives européennes

Deux directives européennes posent un certain nombre d'exigences ou de recommandations de nature à encadrer la promotion et le développement des motorisations alternatives.

La directive 2009/33/ce du parlement européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie

Elle concerne les voitures particulières, les véhicules utilitaires légers, les poids lourds et les autobus. Elle devrait être revue à l'automne 2017.

Sa transposition dans la réglementation belge et wallonne s'applique aux pouvoirs adjudicateurs et aux autorités adjudicatrices, soumis à la loi du 24 décembre 1993 relative aux marchés publics, et à certains marchés de travaux, de fournitures et de services.

Elle est applicable à tout type de marché de fournitures (l'achat, mais également le crédit-bail, la location, ou la location-vente avec ou sans option d'achat) relatif à de tels véhicules, pour les marchés dont la valeur estimée atteint le seuil fixé pour la publicité européenne.

Ainsi, pour l'achat de véhicules de transport routier, les pouvoirs publics adjudicateurs doivent tenir compte des incidences énergétiques et environnementales pendant toute leur durée de vie, et à tout le moins des trois incidences opérationnelles suivantes :

- la consommation d'énergie ;
- les émissions de CO_2 ;
- les émissions de NO_x , de HCNM¹ et de particules fines.

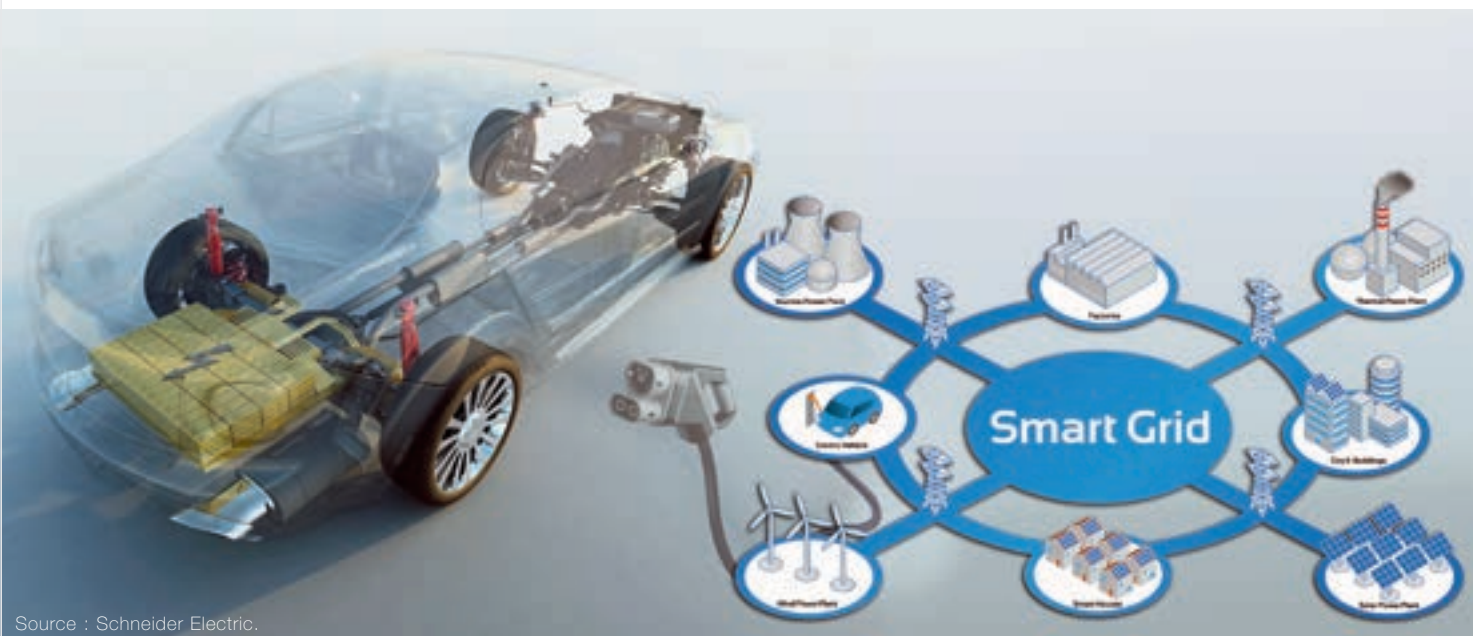
La directive 2014/94/ue du parlement européen et du conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs

L'Europe a fixé des règles en vue du déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs dans les Etats membres, notamment des points de recharge pour véhicules électriques (bornes de recharge) et des points de ravitaillement en gaz naturel et en hydrogène.

Compte tenu des difficultés actuelles en matière d'approvisionnement énergétique pour ces motorisations alternatives, cette directive est importante.

Ainsi, chaque Etat membre doit adopter un cadre d'action national pour le développement du marché relatif aux carburants alternatifs dans le secteur des transports et le déploiement d'infrastructures minimales pour ces carburants, tels les points de recharge. Ils doivent notamment déterminer le nombre de points de recharge et quelles mesures de soutien ils vont prendre pour atteindre cet objectif.

¹ Composés hydrocarbonés non méthaniques



Source : Schneider Electric.



Source : Schneider Electric.

Des points de recharge pour véhicules électriques

D'ici fin 2020, les Etats membres devraient avoir installé un nombre minimum de points de recharge. Le nombre de points de chargement publics devrait correspondre à environ 10 % du nombre de véhicules électriques en circulation à ce moment-là. Les véhicules électriques doivent au minimum pouvoir circuler dans les agglomérations urbaines et suburbaines et dans d'autres zones densément peuplées, mais aussi au sein des réseaux déterminés par ces Etats membres.

Le nombre minimum de points de recharge par Etat membre est déterminé sur base d'objectifs nationaux en matière de véhicules électriques qui, dans beaucoup d'Etats membres, ont déjà été formulés, et via une interpolation du nombre total de véhicules électriques attendus dans toute l'Union européenne.

Dans la mesure où cela est techniquement possible et économiquement raisonnable, les opérations de recharge des véhicules électriques aux points de recharge ouverts au public font appel à des systèmes intelligents de mesure. Dans leur cadre d'action, les Etats membres sont sensés également prévoir des mesures qui favorisent et facilitent le déploiement de points de recharge non ouverts au public.

Des points de ravitaillement en hydrogène

Les Etats membres qui incluent des points de ravitaillement en hydrogène ouverts au public dans leur plan d'action doivent veiller à ce que, au plus tard fin 2025, un nombre approprié de ces points de ravitaillement soit disponible, pour permettre la circulation des véhicules à moteur à hydrogène, y compris des véhicules à piles à combustible, au sein des réseaux qu'ils ont eux-mêmes déterminés.

Des points de ravitaillement en CNG

Au plus tard le 31 décembre 2020, chaque Etat membre doit disposer d'un nombre approprié de points de ravitaillement en CNG ouverts au public, pour permettre la circulation des véhicules à moteur propulsés au CNG (Gaz Naturel Comprimé) dans les agglomérations urbaines et suburbaines et dans d'autres zones densément peuplées, ainsi qu'au sein de réseaux déterminés par l'Etat membre.

Au plus tard le 31 décembre 2025, chaque Etat membre doit disposer d'un nombre approprié de points de ravitaillement en CNG ouverts au public, au moins tout au long du réseau central du Réseau transeuropéen de transport (RTE-T) existant, pour permettre la circulation des véhicules à moteur propulsés au CNG dans toute l'Union.





Contrôle technique. Source : controleTechnique-autovision-lunel.fr.

Des pays européens volontaristes

Pour respecter les objectifs climatiques et réduire drastiquement les émissions de CO₂ d'ici 2030, des mesures fortes doivent être prises. Par ailleurs, suite au « dieselgate », les normes et les procédures de test et d'homologation des voitures à moteur thermique sont et seront renforcées. La fin de la commercialisation des voitures diesel est annoncée par certains à l'horizon... 2025. C'est la conclusion de la banque suisse UBS dans une analyse.

Certains pays se penchent très sérieusement sur cette option.

En Norvège, d'ici 2025, les véhicules neufs (véhicules particuliers et utilitaires) devront fonctionner à l'énergie renouvelable avec des modèles hybrides rechargeables, 100 % électriques et électriques dopés à l'hydrogène (pile à combustible). Dans une version de son plan national de transport figure l'ambition d'éliminer toute émission de CO₂ pour 2025. Le document ne stipule pas si cet objectif doit être atteint via une interdiction ou par un autre moyen. L'utilisation de voitures vertes bénéficie d'importants incitants fiscaux en Norvège.

Les Pays-Bas ambitionnent de réduire drastiquement – voire d'interdire – la vente de véhicules diesel et essence en 2025 au plus tard. Le Parlement a légiféré pour interdire la vente de véhicules thermiques et ne commercialiser que des véhicules électriques ou hybrides rechargeables (essence) à cette échéance. L'Autriche travaille à un scénario similaire.

Le Conseil fédéral allemand a adopté, en octobre 2016, une résolution portant sur l'interdiction de la vente de véhicules diesel et essence dans le pays à l'horizon 2030. Elle a été adoptée par les représentants des Länder à une très large majorité. Elle a surtout pour ambition de montrer la voie aux industriels et d'inciter le gouvernement fédéral à atteindre cet objectif. Depuis mai 2016 (avec effet rétroactif au début de l'année), les véhicules électriques et hybrides rechargeables bénéficient d'une aide à l'achat.

La Flandre a décidé d'interdire les voitures thermiques en 2050. Le Parlement flamand a adopté un plan climat à long terme. Dans celui-ci, les parlementaires ont opté pour une fin de la voiture à pétrole en plusieurs étapes. En 2030, la Région flamande ambitionne 50 % de voitures électriques sur son territoire. En 2035, il serait interdit de vendre des automobiles à moteur essence ou diesel. Et en 2050, de les utiliser. À partir de 2019, les nouveaux bus De Lijn seront électriques à batteries, hybrides ou à hydrogène.

Et certains constructeurs annoncent d'ores et déjà qu'ils ne mettront plus sur le marché de nouveaux modèles diesel à partir de 2020. C'est le cas de Volvo.

La fiscalité, les primes et les incitants en Belgique

Cet état des lieux est intéressant mais susceptible de changements dans des délais rapides. Il est établi sur base de la situation au 1er janvier 2017. Des écarts de taxation importants existent actuellement entre le nord et le sud du pays.

La taxe de mise en circulation

À Bruxelles et en Wallonie, le calcul de la taxe se base toujours sur la puissance fiscale ou sur la puissance nominale du véhicule. S'il n'y a pas de différence de taxe pour les voitures diesel et essence, les modèles fonctionnant au LPG bénéficient encore d'une ristourne.

En Flandre, le type de carburant, le niveau de dépollution et les émissions de CO₂ du véhicule sont pris en compte. La fourchette va de 0 pour les modèles les plus propres (électriques, hybrides rechargeables...) à plus de 10 000 €. Depuis 2016, les moteurs diesel sont davantage pénalisés avec une augmentation de la taxe qui varie en fonction du modèle et selon que celui-ci répond à la norme Euro 5 ou Euro 6. Ainsi, la taxe de mise en circulation d'un véhicule neuf, Euro 6, diesel, dont les émissions de CO₂ sont de 120 g/km, est passé de 117 € en décembre 2015 à 594 € en janvier 2016.

Les véhicules électriques et hybrides plug-in (< 50g CO₂/km) sont exemptés de la taxe de mise en circulation en Flandre. En Wallonie et à Bruxelles, les véhicules 100 % électriques sont soumis au montant minimum de la taxe.



Pour les sociétés de leasing, la taxe de mise en circulation est calculée selon le système bruxellois et wallon.

Dans les trois Régions du pays, la taxe de mise en circulation diminue avec l'âge du véhicule. Les voitures d'occasion sont donc moins taxées.

La taxe de circulation

Les modèles équipés au LPG doivent s'acquitter d'une taxe majorée.

En Flandre, depuis le 1er janvier, un nouveau calcul a été instauré pour favoriser les véhicules plus propres. Les véhicules électriques, hybrides (< 50 gCO₂/km) et à l'hydrogène sont exemptés de la taxe de circulation.

En Wallonie et à Bruxelles, la taxe de circulation des véhicules 100 % électriques est plafonnée au montant minimum de la taxe de circulation.

L'éco-malus wallon

Les conducteurs domiciliés en Wallonie doivent s'acquitter d'un malus si leur voiture émet plus de 146 g de CO₂/km. Il oscille entre 100 et 2500 € et est intégré automatiquement à la taxe de mise en circulation.

Les familles nombreuses bénéficient d'un abattement, de même que les véhicules fonctionnant au LPG.

Déductibilité fiscale

Pour les entreprises, les véhicules électriques sont déductibles à 120 %, contre un maximum de 100 % pour un véhicule à moteur thermique ou hybride.

Pour l'employé, le calcul de l'avantage de toute nature (ATN) se fonde, entre autres, sur les émissions de CO₂. Il est donc réduit lorsque les véhicules sont électriques, hybrides, voire au CNG.

Prime à l'achat du véhicule

Depuis 2016, la Région flamande octroie une prime allant jusqu'à 5000 € pour tous les véhicules électriques (et à l'hydrogène) émettant 0g de CO₂. La mesure ne concerne que les particuliers et les voitures neuves. Cette prime décroît d'année en année pour disparaître en 2020.

À Bruxelles, sous certaines conditions, les entreprises peuvent bénéficier d'une prime de la Région pour l'achat d'un véhicule hybride, soit 20 % de l'investissement plafonné à 3000 € pour un véhicule non utilitaire, à 5000 € pour un véhicule utilitaire. Une seule prime peut être accordée par année.

En Région wallonne, des incitants financiers sont proposés aux communes pour l'achat de véhicules électriques.

Des primes sont parfois octroyées par le secteur gazier (ARGB, NRG, ORES...) en vue d'encourager l'achat de véhicules au gaz naturel.

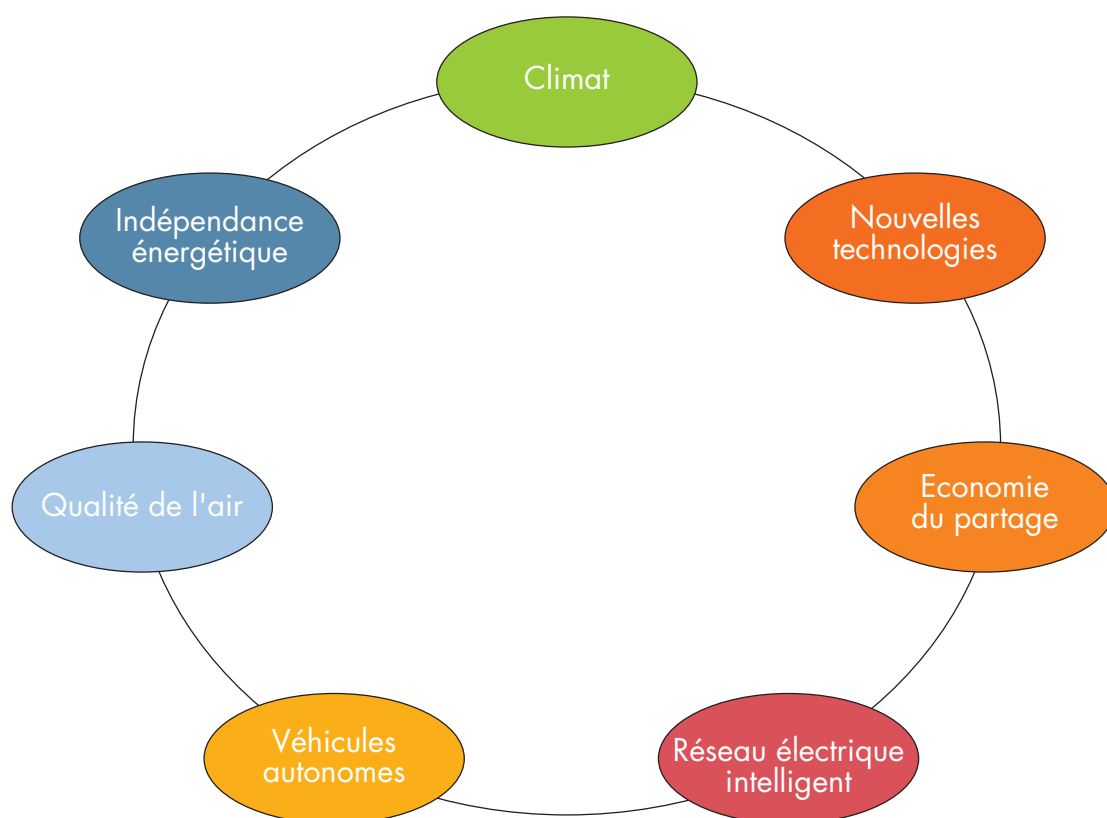
Des flottes de véhicules propres

La Région wallonne a annoncé dans une circulaire un objectif de conversion de sa flotte de véhicules de service.

D'ici 2025, 50 % de celle-ci devrait être remplacée par des véhicules à carburant alternatif, propres ou très propres, et ce, en suivant l'évolution des performances écologiques de ces véhicules.

À partir du 1er janvier 2030, 100 % des véhicules de la flotte publique wallonne remplacés seraient des véhicules à carburant alternatif. Le taux de renouvellement annuel est estimé à plus de 10 %, soit entre 280 et 300 véhicules.





De nombreux arguments et paramètres plaident en faveur d'un changement de paradigme et de la disparition progressive des motorisations thermiques avec, à la clé, de nouveaux comportements de mobilité, et plus globalement des modifications fondamentales des modes de vie.

Le climat

En Belgique, le secteur des transports est responsable de 25 % des émissions de CO_2 . Le défi est de taille. Pour le relever, certains (groupes de) pays ont adopté ou adoptent des mesures plus ou moins volontaristes dans leurs différents domaines de compétence : planification, investissements publics, normalisation, fiscalité, information/sensibilisation.

Par exemple, en Norvège 1 véhicule sur sept, immatriculé aujourd'hui, est électrique. Neuf États nord-américains et quatre pays européens (Allemagne, Norvège, Pays-Bas et Royaume-Uni) ont adhéré à la ZEV (Zero Emission Vehicle). Cette alliance prône la disparition des moteurs thermiques d'ici 2025.

L'indépendance énergétique

C'est sans doute l'argument le plus ancien dans nos pays. Cette dépendance nous rend fragile sur les plans économique et politique. En effet, nous n'avons aucun contrôle sur la fluctuation des coûts, ni garantie totale en matière d'approvisionnement. Par ailleurs, la perspective d'une diminution des ressources en pétrole constitue un autre argument. Cette préoccupation existe aussi avec le gaz naturel.

C'est ce qui a conduit à développer petit à petit les énergies renouvelables. L'intérêt pour celles-ci a longtemps fluctué avec l'évolution du prix du pétrole, et les mesures prises ont connu et connaissent encore des hauts et des bas, variables d'un pays à l'autre... Mais la première mesure s'est portée sur la réduction des consommations de carburant.

La qualité de l'air, en particulier en ville

Les émissions de particules fines et d'oxyde d'azote dues au trafic routier sont responsables de plus de 2400 morts par an en Belgique, soit plus de trois fois le nombre de tués sur la route. La qualité de l'air est enfin une préoccupation à l'échelle des villes. La machine est en marche. De nombreuses villes (elles sont plus de 200 en Europe) ont déjà mis en place des restrictions d'accès à leur centre. Celles-ci visent globalement la qualité de vie, mais en particulier la qualité de l'air et la diminution, voire la suppression, des émissions de particules fines et autres polluants. Les microparticules sont responsables de nombreux décès. Il s'agit réellement d'un problème de santé publique.

Ce type de mesure a et aura de plus en plus de conséquences directes sur la flotte de véhicules particuliers amenés à entrer en ville, sur les choix faits par les entreprises publiques et privées en matière de véhicules de transport en commun, d'entretien des voiries, de collecte des déchets et de livraisons et bien entendu sur la promotion de la mobilité douce. Si les échéances ne sont pas clairement fixées partout, dans cette attente,

certains acteurs anticipent et se fixent des objectifs chiffrés et des horizons temporels de conversion de leur flotte actuelle en véhicules propres.

L'économie du partage

L'économie de la fonctionnalité, c'est remplacer la vente d'un bien par la vente de l'usage du bien. La diminution de la possession de véhicules particuliers en faveur de l'économie de l'usage est favorable à une utilisation des transports alternatifs à la voiture privée, et aux voitures partagées.

L'automobile tend à devenir un outil de mobilité, en particulier pour les nouvelles générations qui ne souhaitent plus systématiquement en posséder une, mais s'intéressent d'abord à l'utilisation qu'ils peuvent en faire. C'est la raison pour laquelle de nouveaux usages de l'automobile se développent. S'appuyant sur l'essor du numérique, elles apparaissent petit à petit, en particulier dans le paysage urbain. Quelques exemples montrent que le développement des voitures partagées favorise la mise à disposition de flottes de véhicules électriques.



Source : weblogtheworld.com.





Véhicule autonome à Paris, quartier de "La défense". Source : ville-rail-transports.com.

Les véhicules autonomes

Le développement des véhicules autonomes est une réalité. Les investissements consentis par des multinationales montrent bien que l'avenir pourrait aller dans ce sens. À terme, des flottes de véhicules seront à disposition et pourront remplacer une partie de nos véhicules privés, avec des conséquences, tant sur le mode de conduite – plus souple et plus sûr – que sur la consommation, le stationnement, le type de trajet effectué, l'organisation et l'automatisation de leur approvisionnement énergétique. Les véhicules capables de rouler en mode autonome, actuellement présents sur le marché sont électriques.

La ville intelligente et la mobilité intelligente sont des outils qui devraient favoriser d'autres formes de déplacements, lissant la demande et l'offre, fluidifiant la circulation et apaisant la ville.

L'évolution des technologies

En s'intéressant à ces nouvelles motorisations, force est de constater que, si le diesel et l'essence sont des technologies parfaitement au point – sauf en matière environnementale – de nombreux acteurs, essentiellement privés mais disposant parfois d'un appui financier public, sont impliqués dans la recherche, le développement et la commercialisation de ces nouveaux produits.

Ils le font de manière plus ou moins volontariste, en y consacrant des investissements variables. Mais de proche en proche, les technologies évoluent, des faiblesses et obstacles trouvent des solutions, et on peut s'attendre à ce que, en fonction de l'urgence et des perspectives de marché, ces systèmes deviennent de plus en plus performants et compétitifs.

Les énergies renouvelables et le réseau électrique

Les énergies renouvelables, dont la production n'est pas linéaire (éolien, solaire), posent un problème de stockage. À grande échelle, des solutions doivent être trouvées.

Parmi celles-ci, les possibilités offertes par les batteries, pour un stockage tampon, temporaire, réversible et mobile, sont susceptibles de contribuer à équilibrer le réseau électrique. Cela présente aussi l'avantage de lisser les surcharges du réseau qui se produiraient avec le branchement d'un grand nombre de véhicules chaque soir, au moment de la pointe de consommation des ménages. Il ne s'agit toutefois pas d'une finalité, mais plutôt d'une opportunité, car des batteries fixes de grande capacité sont susceptibles d'effectuer ce stockage pour un moindre coût d'investissement.



Vision de la mobilité future. Source : Bosch media center.





Source : autoblog.com.

> Conclusion

Aujourd'hui, que ce soit en matière de motorisations électriques, à pile à combustible, au gaz naturel, ou hybrides, les utilisations sont présentes à petite échelle. Toutefois, force est de constater que certains opérateurs de transport en commun ont déjà un plan très concret de conversion totale de leur flotte, avec un horizon très proche.

Difficile aujourd'hui de parier sur l'avenir des voitures au gaz naturel, hors flottes captives. Les motorisations électriques ont sans doute un bel avenir d'ici quelques années. Les motorisations hybrides constituent probablement une option qui traduit une transition. À terme, l'enjeu du développement des flottes de voitures partagées et/ou autonomes est de nature à déterminer aussi des changements en matière de type de motorisation.

Pour les bus, le gaz naturel apparaît à première vue comme une solution économique en remplacement du diesel. Cependant, en ville, des véhicules, circulant localement sans émissions, sont électriques, et lorsqu'ils doivent franchir des distances plus importantes tout en traversant des centres villes, les motorisations hybrides constituent une alternative. Tous les opérateurs n'avancent pas à la même vitesse. On constate une diversité importante en matière de choix de la part des sociétés de transport en commun.

Quant aux véhicules utilitaires, le choix de leur motorisation dépend aujourd'hui des distances parcourues et de leur taille-tonnage mais reste favorable aux motorisations classiques, bien plus économiques. Face à des investissements lourds mais à une contrainte future de circuler propre dans une ville propre, la question est sur la table des acteurs concernés. Les initiatives sont encore assez expérimentales, mais chacun sait qu'il faut se préparer... Encore faut-il décider si on sera le premier ou le dernier à se convertir.

Mais au-delà des choix de motorisation, subsiste toujours l'enjeu d'un transfert des modes de déplacement vers les modes moins polluants et moins énergivores chaque fois que c'est possible.

Les ambitions des villes, qui se veulent aujourd'hui propres, intelligentes, contribuant à la santé publique, constituent aussi des moteurs importants du changement. Et 2025... c'est demain !

> Bibliographie

Ouvrages, brochures, articles

Les nouveaux outils et applis de la mobilité, Ville, Rail & Transports, juillet 2017.

Quelle électromobilité pour demain, Ville, Rail & Transports, juillet 2017.

Ecomobiliste – Le guide pour l'achat écologique d'une voiture, ATE Magazine, mars 2017.

Hydrogène : un vecteur d'avenir pour les territoires, Ademe&Vous, n°101, décembre 2016-janvier 2017.

Voitures hybrides rechargeables : vraiment écologiques ou greenwashing ?, Ecoconso, janvier 2017.

Avantages et inconvénients de la voiture électrique, Ecoconso, janvier 2017.

Motorisations alternatives. L'enjeu de leur intégration au cœur des flottes d'entreprises, Dynamisme wallon, UWE, 10-11/2016.

Les potentiels du véhicule électrique, Les avis de l'ADEME, ADEME, avril 2016.

Pile à combustible. Les autobus de Hambourg auront le vent pour carburant. Ville, Rail & Transports, avril 2016.

Véhicules à hydrogène. La France est-elle dans la course. Ville, Rail & Transports, février 2016.

Usages novateurs de la voiture et nouvelles mobilités, Rapport final, Tech2Market et Gerpisa pour le compte de Pipame, DGE et CGDD, Paris, janvier 2016.

Bornes de recharge pour véhicules électriques, Règlementation et préconisations de mise en œuvre sur la voie publique, Cerema, janvier 2016.

Etude sur les parcs roulants routiers français. Inventaire, comparaisons et impact sur les courbes d'émissions, Cerema, janvier 2016.

Véhicules électriques ? Changer de mobilité, pas de voiture !, Pierre Courbe, IEW, 2010.

Directives, réglementation

Directive 2009/33/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie.

Arrêté royal du 20 décembre 2010 relatif à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie dans le cadre des marchés publics (MB du 24 décembre 2010).

Directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs.



Réalisation

Dossier préparé et mis en forme par
ICEDD asbl
Boulevard Frère Orban 4, B-5000 Namur



Rédaction

Françoise BRADFER – ICEDD

Comité de lecture

Pierre COURBE, IEW
Muriel DOZIER, SPW – DGO2
Brigitte ERNON, SPW – DGO2
Bernadette GANY, SPW – DGO2
Virginie HUTSEMEKERS, AwAC
Pascal LEHANCE, SPW – DGO4

Éditeur responsable

Ir Yvon LOYAERTS
SPW – Direction générale opérationnelle Mobilité et
Voies hydrauliques
Boulevard du Nord 8, B-5000 Namur

Réseau des CeM

Bernadette GANY – Coordinatrice
SPW – Direction de la Planification de la Mobilité
Boulevard du Nord 8, B-5000 NAMUR
Tél. : 081 77 30 99 – Fax : 081 77 38 22
reseau-cem@spw.wallonie.be
cem.mobilite.wallonie.be

Centre de documentation et de diffusion en mobilité

Brigitte ERNON – Gestionnaire
SPW – Direction de la Planification de la Mobilité
Boulevard du Nord 8, B-5000 NAMUR
Tél. : 081 77 31 32 – Fax : 081 77 38 22
centre-doc-mobilite@spw.wallonie.be
documentation.mobilite.wallonie.be

Photo de couverture : theenergycollective.



Sources : protohema, autoexpress.co.uk, youtube.



■ DÉJÀ PARUS DANS CETTE COLLECTION

1. Le conseiller en mobilité : contexte, rôle et outils
2. Les pièges de la mise en œuvre des plans communaux de mobilité
3. La gestion de la demande de mobilité
4. La mobilité et l'aménagement du territoire
5. Mobilité, consommation d'énergie et pollution de l'air : quels enjeux pour demain ?
6. Tous en piste pour le vélo !
7. Une réunion ? Et si on en parlait ...
8. La signalisation, aussi une question de bon sens ...
9. Les CeM à la découverte de La Rochelle
10. Le charroi agricole
11. Le stationnement : encore et toujours au coeur de la mobilité – 1. Problématique générale
12. Le stationnement : encore et toujours au coeur de la mobilité – 2. Applications et effets
13. Mobilité scolaire
14. Mobilité en zone rurale
15. L'intermodalité dans le transport des personnes
16. Mobilité en Suisse romande
17. Le transport en commun
18. Nouvelles implantations commerciales et mobilité
19. Zone 30, zone résidentielle et zone de rencontre
20. L'aménagement du territoire et l'urbanisme face à la mobilité
21. Le stationnement – 3. Besoins spécifiques
22. Mobilité douce et déplacements quotidiens
23. Des comptages. Pourquoi ? Comment ?
24. Mobilité et environnement
25. Le Plan Escargot. Un soutien financier aux communes pour favoriser les modes alternatifs de déplacement
26. Les systèmes de transport collectif structurants
27. Le Plan communal de mobilité : un état des lieux
28. Conseiller en mobilité : une formation, une fonction, un métier
29. Mobilité et déplacements domicile-travail
30. Le stationnement dépenalisé
31. Jeunes et mobilité
32. Déplacements en milieu rural. Quelles alternatives ?
33. Collaborations TEC – gestionnaires de voiries
34. Territoires, mobilité et aménagements en zone rurale.
35. Un règlement complémentaire de circulation routière. Quand ? Comment ?
36. Des Crédits d'impulsion pour la mise en oeuvre des Plans communaux de mobilité
37. Elaborer un Plan Commune cyclable : comment ?
38. Des indicateurs pour évaluer la mobilité communale
39. La marche, au coeur de la mobilité
40. Grandes villes wallonnes : quelle mobilité aujourd'hui et demain ?
41. Stationnement 4 – Besoins de stationnement de voitures et projets immobiliers : quelle stratégie ?
42. Une circulation apaisée dans les villes et les villages. Quelle stratégie ? Quels outils ?
43. Mobilité des seniors
44. La voiture en partage
45. Quelles motorisations demain ?