



Fuel for the Future

Carburants alternatifs pour le transport routier



do your thing

Fuel for the Future

Carburants alternatifs pour le transport routier

Auteurs

Luc Genot – Logistics in Wallonia
Carine Nardello – Logistics in Wallonia
Kris Neyens – VIL
Mark Pecqueur – Thomas More Hogeschool

Comité de rédaction

Philip Boeykens – ING
Filip De Clercq – Gilbert De Clercq
Benny Smets – Ninatrans
Luc & Pierre Van Mieghem – Van Mieghem Logistics

Remerciements

Jean-Marie Becker – Intraco Consulting
Cédric Capelle – Garsou-Angenot
Jean François Defour – Voyages Léonard
Bernard Piette – Logistics in Wallonia

Édition

Isabella Venosi

Lay-out

Christel Widart - Orangegrafix

Date de publication : juin 2021

Préface

Le secteur du transport et de la logistique est essentiel pour que la Belgique, en tant que plateforme logistique et porte de l'Europe occidentale, crée de la prospérité. En même temps, il s'agit d'un secteur avec un impact majeur sur le climat, qui doit réduire ses émissions de manière substantielle afin d'atteindre les objectifs climatiques. L'Union européenne fait donc du transport durable, et de la transition énergétique qui l'accompagne, une priorité de son « Green Deal ».

Notre enquête montre que plus de 80 % des personnes interrogées du secteur sont prêtes à investir dans la transition écologique en matière de transport routier. La volonté de devenir plus durable est là, car les transporteurs en voient la nécessité économique et écologique.

Mais dans quelle technologie les entreprises doivent-elles investir ? Et quand ? Il n'est pas toujours évident de savoir quels systèmes de conduite sont les plus adaptés à certaines activités et quel est l'impact réel sur le climat des carburants plus durables. De plus, les transporteurs paient encore une prime pour ces nouvelles technologies et il existe actuellement des limitations opérationnelles, au niveau de l'autonomie et des infrastructures de ravitaillement.

Le secteur du transport et de la logistique, et par extension toute entreprise qui transporte ou fait transporter des marchandises, a besoin d'informations scientifiques concrètes et d'une vision claire de l'avenir. C'est pourquoi ING a pris l'initiative de réaliser cette étude : en tant que banque, nous nous sommes engagés à soutenir nos clients dans la transition durable. En informant les entreprises de transport et les propriétaires de flotte, notre ambition est de les aider à prendre les bonnes décisions pour relever les défis à venir.

Bonne lecture,



Yves Goddefroy

Business Desk Manager Antwerpen-Haven
ING Belgique

Table des matières

Avant-propos

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 6 |
| I. Analyse des carburants alternatifs | 7 |
| 1. Gaz naturel : CNG et LNG | 8 |
| 1.1. Composants et fonctionnement d'un moteur à combustion au CNG/LNG | 8 |
| 1.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession | 11 |
| 1.3. Perspectives futures | 14 |
| 1.4. Références | 15 |
| 2. HVO (biodiesel) | 16 |
| 2.1. Composants et fonctionnement d'un moteur à combustion au HVO | 16 |
| 2.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession | 17 |
| 2.3. Perspectives futures | 18 |
| 2.4. Références | 19 |
| 3. Electricité (batterie) | 20 |
| 3.1. Composants et fonctionnement d'un moteur électrique équipé de batteries | 20 |
| 3.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession | 23 |
| 3.3. Perspectives futures | 25 |
| 3.4. Références | 27 |
| 4. Hydrogène | 28 |
| 4.1. Composants et fonctionnement | 28 |
| 4.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession | 32 |
| 4.3. Perspectives futures | 35 |
| 4.4. Références | 37 |
| Le point de vue du secteur | 38 |
| 6. Comparaison des Ecoscores | 39 |
| 6.1. Formules | 39 |
| 6.2. Paramètres | 40 |
| 6.3. Résultats | 41 |
| 6.4. Analyse et conclusion | 41 |
| 6.5. Références | 41 |
| Le point de vue du secteur | 42 |
| 8. Réseaux de ravitaillement en Belgique et en Europe | 43 |
| 8.1. CNG | 43 |
| 8.2. LNG | 43 |
| 8.3. HVO/biodiesel | 45 |
| 8.4. Electricité (batterie) | 45 |
| 8.5. Hydrogène | 46 |
| 9. Subsidés et fiscalité | 47 |
| 9.1. Flandre | 47 |
| 9.2. Wallonie | 49 |
| 9.3. Pays-Bas | 51 |
| 9.4. Allemagne | 52 |
| Le point de vue du secteur | 53 |
| II. Enquête | 54 |
| 1. Contexte de l'étude | 54 |
| 2. La nécessité d'actions concertées dans un cadre clair et pérenne | 55 |
| 3. L'intérêt du secteur pour les motorisations alternatives | 56 |
| 4. Les motivations et obstacles à l'investissement | 57 |
| 5. Les facteurs de décisions pour investir dans des motorisations alternatives | 58 |
| 6. Des investissements complexes et spécifiques à chaque organisation | 59 |
| 7. Le rôle clé des autorités publiques | 61 |
| Le point de vue du secteur | 62 |
| III. Perspectives | 63 |
| 1. À court terme : jusqu'à 2026 | 63 |
| 2. À moyen terme : jusqu'à 2032 | 64 |
| 3. À long terme : au-delà de 2032 | 64 |

Introduction

Le transport et la logistique sont plus que jamais à la croisée des chemins. Cette activité économique essentielle est toujours plus mise sous pression. Les autorités politiques et les citoyens attendent du secteur **une transition vers un transport neutre en émissions**.

Ces mêmes citoyens demandent que les prestataires logistiques répondent aux exigences les plus critiques, en particulier l'acheteur en ligne. Ce dernier aspect a été tout particulièrement mis en lumière depuis le premier confinement en mars 2020 et l'**explosion des commandes en ligne**. De l'autre côté du spectre, certains consommateurs ont choisi de favoriser les circuits courts avec les enjeux logistiques que cela représente.

Par ailleurs, l'Union Européenne a posé un cadre ferme dans le cadre du **Green Deal** en affichant une ambition forte : -55 % de CO2 en 2030 et la neutralité carbone en 2050. Pour compléter le tableau, ajoutons également le Plan de Relance et de Résilience européen où la question de l'empreinte carbone est centrale et où tous les regards semblent se tourner vers l'hydrogène comme la solution aux problèmes climatiques. L'Allemagne et la France ont d'ailleurs investi des sommes conséquentes dans cette technologie.

De nombreux transporteurs et propriétaires de flotte se posent des questions :

- Quelles alternatives réelles existe-t-il au diesel ?
- Ces technologies sont-elles éprouvées, sûres et susceptibles de préserver la compétitivité des entreprises ?
- Dans quelle technologie dois-je investir aujourd'hui, demain, dans 5 ans ou dans 10 ans ?
- Existe-t-il des incitants permettant d'amortir un éventuel investissement ?

Afin de fournir au secteur du transport des réponses scientifiques à ces questions, ING a fait appel à l'expertise de **VIL, Logistics in Wallonia et Thomas More Hogeschool**. Les résultats de ce projet de recherche sont compilés dans cette étude, baptisée « **Fuel for the Future** ».

« Fuel for the Future » analyse les carburants alternatifs pour le transport routier (tant pour le transport de marchandises que pour le transport de passagers), à savoir **le gaz naturel (CNG/LNG), le biodiesel (HVO), l'hydrogène et l'électricité (batterie)**. Cette étude présente la caractéristique unique de proposer une comparaison de ces alternatives avec le carburant de référence actuel, à savoir le diesel, sur les **plans économique, écologique et opérationnel**.

Par ailleurs, « Fuel for the Future » donne un aperçu clair des **dispositifs d'aide et d'incitants fiscaux** favorisant les motorisations alternatives. Cette étude tente également d'esquisser les **perspectives d'avenir** des dites alternatives. Pour conclure, le lecteur pourra se faire une idée de la vision du secteur, sur la base des résultats d'une **vaste enquête** menée auprès des entreprises de transport et des propriétaires de flotte.

I. Analyse des carburants alternatifs



1 | Gaz naturel : CNG et LNG

1.1. Composants et fonctionnement d'un moteur à combustion au CNG/LNG

Le gaz naturel et le biogaz sont essentiellement composés de **méthane**. Bien qu'ils puissent l'un et l'autre s'utiliser dans les moteurs, le gaz naturel reste un combustible fossile, tandis que le biogaz est 100 % renouvelable, avec des émissions de CO₂ égales à zéro.

Le **point d'attention majeur** concerne les fuites de méthane : son potentiel de réchauffement étant 25 fois supérieur à celui du CO₂, la moindre fuite aura un impact non négligeable sur l'environnement. Ce risque de fuite se situe en amont de l'approvisionnement du véhicule, au niveau de l'extraction et du traitement du gaz. [1]

1.1.1. Formes de gaz utilisées

Le gaz naturel est utilisé sous deux formes : le gaz naturel comprimé ou Compressed natural gas (CNG) et le gaz naturel liquéfié ou Liquefied natural gas (LNG).

Le **CNG**, qui est un gaz comprimé à 200 bars, présente une faible densité (environ 160kg/m³). C'est la forme la plus utilisée pour les voitures et les utilitaires légers.

Pour les poids lourds, la solution préconisée est le **LNG**, qui est un gaz refroidi à -162°C. L'avantage principal de ce gaz est sa densité qui, à volume de stockage égal, lui confère un pouvoir calorifique plus de 2,5 fois supérieur à celui du CNG.

L'**inconconvénient principal** du LNG est qu'il faut le maintenir à très basse température. En effet, une hausse de température entraîne de facto une hausse de pression. La pression admise dans le réservoir étant limitée, toute surpression nécessitera l'évacuation d'une partie du gaz.

Ce phénomène pourra être évité par une utilisation régulière du véhicule et, plus précisément, en évitant de le laisser à l'arrêt durant plus de 5 jours. Ceci est impératif, car, compte tenu de l'important potentiel de réchauffement du méthane, toute évacuation de gaz est à éviter.

a. Odeur

Par ailleurs, le CNG dégage une odeur directement associée au gaz. Celle-ci provient, non pas du méthane lui-même qui est inodore, mais bien des mercaptans ajoutés de manière à détecter les fuites. Quant au LNG, son état liquide ne permet pas l'ajout de mercaptans. En l'absence de capteurs appropriés, une fuite de gaz ne se remarquera donc pas.

| Propriété | CNG | LNG |
|------------------------------|-------------|--------|
| Densité (kg/m ³) | 155-164 | 420 |
| Température (°C) | ambiante | -162°C |
| Pouvoir calorifique (MJ/kg) | 40,3 - 49,1 | 50 |

Tableau 1 - Caractéristiques du CNG et du LNG

b. Version CNG

Le CNG est **stocké** à une pression de 200 bars dans des bouteilles en acier, qui sont montées dans un cadre fixé au châssis du véhicule (figure 1). Dans les utilitaires légers, ces réservoirs sont généralement placés sous le véhicule afin de ne pas empiéter sur le volume de chargement.

Les réservoirs ont une capacité de 40 à 300 litres par unité. Ils sont équipés chacun d'une vanne d'arrêt électromagnétique et connectés, via un réseau de tubes en acier inoxydable, au circuit d'alimentation et au dispositif de ravitaillement.

Le **remplissage** du réservoir CNG s'effectue au moyen d'un pistolet qui se connecte à l'embout du réservoir et se verrouille par une pression sur le levier. Le remplissage se lance en appuyant sur le bouton situé sur la colonne de la station-service. Une fois le remplissage terminé, le pistolet se débloque en relâchant le levier. Le gaz qui se trouve entre l'embout du réservoir et le pistolet est libéré et aspiré par le système, évitant ainsi toute fuite dans l'atmosphère.



Fig. 1 - Réservoir CNG dans un cadre fixé au châssis du véhicule

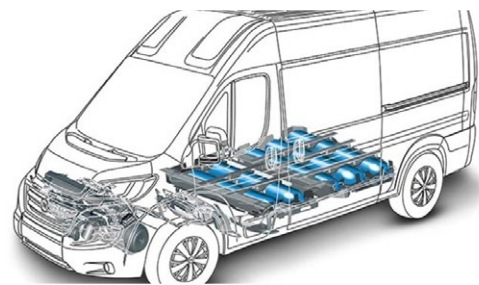


Fig. 2 - Réservoir CNG sous le véhicule



Fig. 3 - Pistolet de remplissage CNG

c. Version LNG

Le **réservoir** de LNG se présente sous la forme d'un cylindre en acier permettant de stocker le gaz liquide à -162°C à une pression de maximum 16 bars. Il est entouré d'une solide couche d'isolation et d'une fine plaque en acier inoxydable.



Fig. 4 - Réservoir LNG fixé au châssis



Fig. 5 - Pistolet de remplissage LNG

Le **remplissage** du réservoir LNG est un travail de professionnel pour lequel le chauffeur doit disposer des connaissances requises et respecter la procédure à suivre en matière de sécurité. Pendant le remplissage, le chauffeur porte des gants isolants et un masque de protection. Avant l'introduction du pistolet, la zone autour de l'embout du réservoir est nettoyée à l'air comprimé. De cette façon, aucune impureté ne pénètre dans le réservoir et l'embout reste complètement sec, ceci afin d'éviter que le gel empêche le retrait du pistolet du réservoir.

1.1.2. Types de moteurs

La combustion du gaz peut être déclenchée selon deux principes :

- l'allumage par compression, appliqué dans les moteurs de type diesel ;
- l'allumage par étincelle, appliqué dans les moteurs à essence.

a. Allumage par compression

Le gaz est aspiré avec l'air lors de la phase d'admission, puis comprimé (figure 6).

L'allumage est déclenché par l'injection d'une petite quantité de diesel, appelée "injection-pilote". Cette technologie est héritée des moteurs de grande taille et, particulièrement, de la production d'électricité dans la marine. Pour ce type de moteurs, c'est en effet le seul moyen de lancer la combustion dans l'ensemble du cylindre.

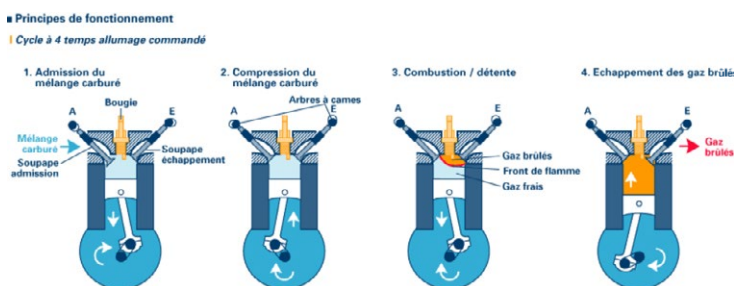
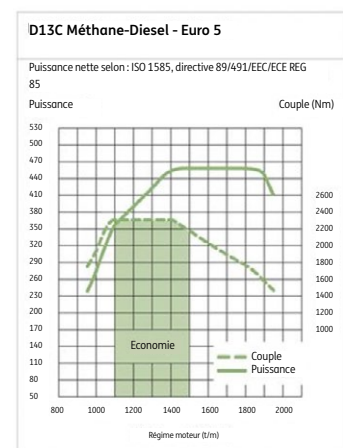


Fig. 6 – Fonctionnement d'un moteur à allumage par compression



| Moteur | |
|---|----------------------|
| Puissance mx. à 1400-1850 t/m | 338 kW |
| Couple max. à 1100-1400 t/m | 2300 Nm |
| Nbre cylindres | 6 |
| Capacité | 12,8 dm ³ |
| Régime moteur éco. | 1100-1500 t/m |
| Puissance de freinage moteur (2300 t/m) | 185 kW |
| Volvo Engine Brake (VEB+) (2300 t/m) | 375 kW |

Fig. 7 Caractéristiques d'un moteur à allumage par compression

L'**avantage principal** de ce type de motorisation est de permettre le maintien de la pleine puissance du moteur en augmentant la part de diesel si l'apport de gaz est insuffisant.

b. Allumage par étincelle

L'allumage par étincelle est déjà d'application dans l'ensemble des utilitaires légers et des voitures de société de type Euro 6. Le principe est exactement le même que celui d'un moteur à essence, où un mélange d'air et de gaz est comprimé et s'enflamme grâce à une étincelle provoquée par une bougie d'allumage.

Le comportement de ce type de moteurs est **comparable à la version diesel**.

Les moteurs LNG à allumage par étincelle ont une puissance légèrement inférieure à leurs homologues diesel, mais ce n'est pas un obstacle à leur déploiement.

Les chauffeurs ressentent toutefois cette différence de puissance.

Une vitesse de 90 km/h sur l'autoroute avec un 44 tonnes requiert une puissance d'environ 110 KW. La puissance légèrement inférieure du moteur LNG a un effet favorable sur son rendement. Il comprend un boîtier papillon qui entraîne des pertes de pompage à bas régime. Celles-ci se réduisent lors de l'ouverture complète du papillon sous l'effet d'une mise en charge plus importante du moteur, améliorant ainsi son rendement.

1.1.3. Émissions

a. Pollution atmosphérique

La comparaison des **émissions de CO2** du diesel et du gaz n'aboutit pas à une différence significative, en tout cas au niveau « tank to wheel » (du réservoir à la roue). L'intérêt réside davantage dans la réduction significative des émissions de NOX. [2], [3]

En revanche, il n'en va pas de même pour la partie « **well to tank** » (du puits au réservoir). En effet, contrairement au diesel qui subit un processus de raffinage, le méthane peut être utilisé directement. Ceci étant, le méthane doit être soit comprimé (CNG) soit liquéfié (LNG), ce qui engendre malgré tout une dépense d'énergie et donc des émissions.

La différence entre les émissions de CO2 du diesel et du gaz naturel étant extrêmement faible, la moindre perte de méthane dans l'atmosphère jouera en sa défaveur.

b. Pollution sonore

En matière de bruit, **aucun doute n'est permis**. Il est clairement démontré que le bruit d'un véhicule au gaz est, selon la norme européenne 70/157, inférieur de 3 à 3,5 dB à celui d'un véhicule au diesel du même type. [4]

1.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession

Le CNG et le LNG sont loin d'être inconnus dans le monde de la logistique. Il s'agit d'une **technologie au point et fiable dans sa mise en œuvre**.

La **durée de vie** de ces véhicules motorisés au gaz naturel est comparable à leurs équivalents diesel.

Le **coût d'entretien** est légèrement supérieur, compte tenu du remplacement régulier des bougies. En revanche, le traitement des gaz d'échappement, qui est plus simple, pose moins problème que le diesel.

1.2.1. Coût total de possession (TCO)

Le coût total de possession (Total Cost of Ownership TCO) est basé sur une compilation des calculs effectués par différents importateurs de véhicules, combinée aux résultats du rapport 2019 de la CREG. [5]

La figure 8 présente le TCO avec subvention, la figure 9 le TCO sans subvention.

L'analyse montre que, en ce qui concerne la Belgique, l'octroi d'un soutien public est nécessaire pour arriver à un résultat positif.

| TCO DIESEL/GAZ | | | |
|---|-------------|------------------|------------------|
| Carburant | Unité | Diesel | LNG |
| Type d'entreprise | | GE | GE |
| Amortissement | | | |
| Investissement | € | 90.000 | 120.000 |
| Investissement avant subside (Flandre) | € | 90.000 | 120.000 |
| Subside | € | 0 | -19.200 |
| Valeur résiduelle | € | 20.000 | 15.000 |
| Années d'amortissement | année | 5 | 5 |
| Kilomètres annuels | km | 100.000 | 100.000 |
| Total Amortissement | € | € 70.000 | € 85.800 |
| Réparation | | | |
| Frais de réparation et d'entretien mensuels | €/mois | 380 | 440 |
| Total Frais de réparation et d'entretien | € | € 22.800 | € 26.400 |
| Assurance | | | |
| Omnium | €/année | 1800 | 2400 |
| Carburant | | | |
| Consommation diesel | l/100 km | 25,97 | |
| Prix brut diesel | €/l | 1,15 | |
| Remboursement d'impôts | €/l | -0,248 | 0,000 |
| Prix net diesel | €/l | 0,902 | 0,000 |
| Total coûts carburant | € | € 117.177 | € - |
| Consommation AdBlue (%age consommation diesel) | % | 6,0% | |
| Prix AdBlue | €/l | 0,300 | |
| Total coûts AdBlue | € | € 2.337 | € - |
| Consommation CNG/LNG | kg/100 km | | 24,98 |
| Prix CNG/LNG | €/Kg | | 0,750 |
| Total coûts CNG/LNG | € | € - | € 93.675 |
| Total coûts carburant | € | € 119.514 | € 93.675 |
| Prix total | € | € 221.314 | € 217.875 |
| Total coûts au kilomètre | €/km | 0,443 | 0,436 |
| Emissions CO2 | ton | 344,10 | 343,48 |

Fig. 8 - TCO avec subvention

| TCO DIESEL/GAZ | | | |
|---|-------------|------------------|------------------|
| Carburant | Unité | Diesel | LNG |
| Type d'entreprise | | GE | GE |
| Amortissement | | | |
| Investissement | € | 90.000 | 120.000 |
| Investissement avant subside (Flandre) | € | 90.000 | 120.000 |
| Subside | € | 0 | 0 |
| Valeur résiduelle | € | 20.000 | 15.000 |
| Années d'amortissement | année | 5 | 5 |
| Kilomètres annuels | km | 100.000 | 100.000 |
| Total Amortissement | € | € 70.000 | € 105.000 |
| Réparation | | | |
| Frais de réparation et d'entretien mensuels | €/mois | 380 | 440 |
| Total Frais de réparation et d'entretien | € | € 22.800 | € 26.400 |
| Assurance | | | |
| Omnium | €/année | 1800 | 2400 |
| Carburant | | | |
| Consommation diesel | l/100 km | 25,97 | |
| Prix brut diesel | €/l | 1,15 | |
| Remboursement d'impôts | €/l | -0,248 | 0,000 |
| Prix net diesel | €/l | 0,902 | 0,000 |
| Total coûts carburant | € | € 117.177 | € - |
| Consommation AdBlue (%age consommation diesel) | % | 6,0% | |
| Prix AdBlue | €/l | 0,300 | |
| Total coûts AdBlue | € | € 2.337 | € - |
| Consommation CNG/LNG | kg/100 km | | 24,98 |
| Prix CNG/LNG | €/Kg | | 0,750 |
| Total coûts CNG/LNG | € | € - | € 93.675 |
| Total coûts carburant | € | € 119.514 | € 93.675 |
| Prix total | € | € 221.314 | € 237.075 |
| Total coûts au kilomètre | €/km | 0,443 | 0,474 |
| Emissions CO2 | ton | 344,10 | 343,48 |

Fig. 9 - TCO sans subvention

Le transport dépasse toutefois les frontières nationales. Tout particulièrement, en Allemagne, les véhicules au CNG/LNG bénéficient d'une exonération de la Maut, la taxe kilométrique modulée selon la classe d'émissions du véhicule. Le LNG reste dès lors une **option intéressante** pour les transporteurs qui circulent beaucoup en Allemagne.

1.3. Perspectives futures

1.3.1. Valeur résiduelle

Il est généralement admis que la valeur résiduelle des véhicules au LNG est **inférieure à celle d'une version diesel**, car ce carburant est pratiquement inexistant dans les régions où se situe le marché d'occasion, c'est-à-dire essentiellement à l'extérieur de l'Europe occidentale.

1.3.2. Opportunités

Le réseau de distribution de LNG est en cours de développement et presque tous les constructeurs proposent des motorisations au CNG/LNG. Par conséquent, compte tenu de l'ampleur des investissements consentis de part et d'autre, tout sera fait pour maintenir ce marché en vie aussi longtemps que possible. Il y aura donc une **offre suffisante dans les prochaines années**, qu'il s'agisse des véhicules ou des stations de ravitaillement.

1.3.3. Biométhane

Le biométhane provient de l'épuration du biogaz issu de la fermentation de matières organiques (biomasse, dont certains déchets tels que le fumier provenant de diverses branches de l'agriculture). La production de biométhane est un procédé connu et déjà largement utilisé, notamment pour alimenter les systèmes de cogénération.

Ce biométhane, épuré, est tout à fait utilisable comme alternative au gaz naturel existant.

La figure 10 montre le potentiel du biométhane. La source la plus intéressante serait le fumier, avec un potentiel de 15 milliards de m³ par an. Quant à la source la plus importante, elle est également la plus problématique, car les cultures concernées consomment des surfaces agricoles utilisables pour la production alimentaire.

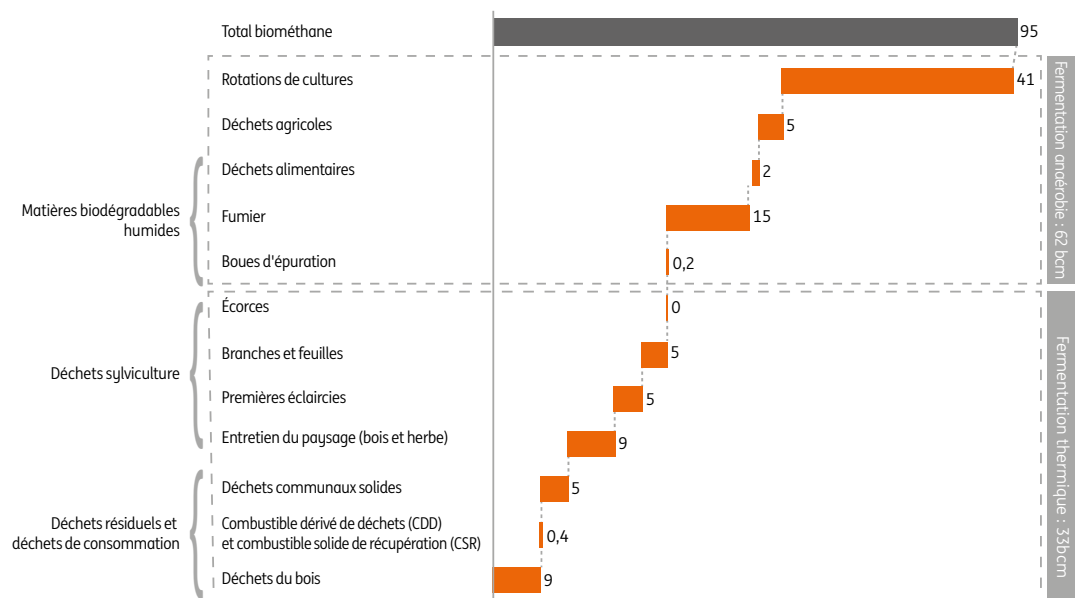


Fig. 10 – Sources et potentiel du biométhane à l'horizon 2050 [8]

1.3.4. Menaces

a. Emissions

Le « Green Deal » européen va considérablement augmenter la pression en faveur des solutions à émissions nulles. En vue de faire face à cette évolution de la demande, les constructeurs ne veulent pas tarder à mettre de tels produits sur le marché. Si la pression du gouvernement s'accroît en ce sens, l'on pourrait rapidement assister à un **recul de l'offre de véhicules au LNG au profit de solutions à émissions nulles**.

b. Fuite de méthane

Ensuite, il faut rappeler le **risque (boil-off)** concernant les véhicules trop longtemps à l'arrêt, ainsi que le **risque de fuite de méthane** à l'amont de la chaîne. Le méthane ayant un potentiel de réchauffement 25 fois supérieur au CO₂, toute fuite dans l'atmosphère constitue une véritable menace pour l'image du secteur dans son ensemble.

A l'heure actuelle, le gaz issu du boil-off n'est pas (re-)traité efficacement, ce qui fragilise le secteur. En effet, si l'on arrive à démontrer que le LNG émet plus de gaz à effet de serre que le diesel, le législateur pourra sans difficulté mettre à l'arrêt l'ensemble du marché. [7]

1.4. Références

[1] "Methane emissions from oil and gas platforms in the North Sea" Stuart N. Riddick ; Département d'ingénierie civile et environnementale, Université de Princeton, Princeton, 08544, USA.

[2] "Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport" David C. Quirosa, *, Jeremy Smitha, Arvind Thiruvengadamb, Tao Huaia, Shaohua Hua ; a:California Air Resources Board, 1001 Street, Sacramento, CA 95814, USA

b: Mechanical and Aerospace Department, West Virginia University, 395 Evansdale Drive, Morgantown, WV 26506, USA

[3] "In-use NOx emissions from diesel and liquefied natural gas refuse trucks equipped with SCR and TWC respectively" Chandan Misra, Chris Ruehl, John Francis Collins, Don Chernich, and Jorn Herner ; Environ. Sci. Technol., DOI : 10.1021/acs.est.6b03218

[4] "Nieuwe energie-zuinige en milieuvriendelijke technologieën voor bussen en vrachtwagens" R. Craps, D. De Keukeleere en G. Lenaers : VITO (1998)

[5] "Étude sur la position concurrentielle du gaz naturel utilisé comme carburant GNC (gaz naturel comprimé) et GNL (gaz naturel liquéfié) pour différents types de véhicules" CREG

[6] <https://ecoscore.be/fr/info/ecoscore/euro6>

[7] <https://www.transportenvironment.org/press/road-tests-show-gas-trucks-5-times-worse-air-pollution>

[8] Association européenne du biogaz - Rapport annuel 2019

2 | HVO (biodiesel)

2.1. Composants et fonctionnement d'un moteur à combustion au HVO

Le HVO ou « Hydrogenated Vegetable Oil » est un carburant dit “drop-in”, car il ne nécessite **aucune adaptation aux moteurs existants**.

2.1.1. Production de HVO

Le HVO est principalement obtenu à partir de **deux sources** :

- Les huiles naturelles comme l'huile de colza, et surtout l'huile de palme, actuellement la forme la plus utilisée ;
- Les matières premières issues de filières non alimentaires, telles que les huiles industrielles usagées et les algues, source devant à terme devenir la plus importante.

Quelle qu'en soit l'origine, les spécifications techniques du biodiesel sont définies par la norme EN14214. Le HVO conforme à cette norme est **utilisable dans la majorité des moteurs standard**. [1] [2]

2.1.2. Propriétés du produit

Les propriétés du HVO se rapprochent largement de celle définies pour le diesel dans la norme EN 590 (figure 11), à quelques différences près. Par exemple, son pouvoir calorifique moins élevé au litre entraînera une légère surconsommation, de 3 à 6 %, par rapport au diesel.

Un avantage important du HVO est qu'il ne contient pas de composés aromatiques. Ces molécules à la structure en anneau, peuvent, en cas de combustion incomplète, avoir un effet cancérigène.

| | HVO | EN 590 (diesel d'été) |
|--|---------------|-----------------------|
| Masse volumique à 15 °C (kg/m ³) | 775 ... 785 | ≈ 835 |
| Viscosité à 40 °C (mm ² /s) | 2,5 ... 3,5 | ≈ 3,5 |
| Indice de cétane | ≈ 80 ... 90 | ≈ 53 |
| Intervalle distillation (°C) | ≈ 180 ... 320 | ≈ 180 ... 360 |
| Point de trouble (°C) | -5 ... -25 | ≈ -5 |
| Pouvoir calorifique, bas (MJ/kg) | ≈ 44,0 | ≈ 42,7 |
| Pouvoir calorifique, bas (MJ/l) | ≈ 34,4 | ≈ 35,7 |
| Teneur totale en aromatiques (wt-%) | 0 | ≈ 30 |
| Polyaromatiques (wt-%) | 0 | ≈ 4 |
| Teneur en oxygène (wt-%) | 0 | 0 |
| Teneur en soufre (mg/kg) | < 10 | < 10 |
| Pouvoir lubrifiant à 60 °C (µm) | < 460 * | < 460 * |
| Stabilité de stockage | Bonne | Goed |

* Avec lubrifiant

Fig. 11 Caractéristiques du HVO [3]

2.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession

Réduction émissions de CO2

Le **principal avantage** du HVO est qu'il permet une réduction significative des émissions de CO2 et, dans une moindre mesure, d'autres polluants. En outre, à condition que les moteurs soient compatibles, son utilisation ne requiert aucune adaptation du véhicule. [4] [5]

Le développement du HVO se heurte essentiellement à la **disponibilité des matières premières** qui proviennent encore bien souvent de cultures consommant des surfaces agricoles utilisables pour la production alimentaire.

Le HVO s'utilisant dans les moteurs diesel existants, l'**émission de polluants tels que les NOx et les particules fines (PM&PN)** est pratiquement la même que celle d'un moteur diesel.

2.2.1. TCO

| TCO DIESEL/HVO | | | |
|---|-------------|------------------|------------------|
| Carburant | Unité | Diesel | HVO |
| Amortissement | | | |
| Investissement | € | 90.000 | 90.000 |
| Subside | € | 0 | 0 |
| Valeur résiduelle | € | 20.000 | 20.000 |
| Années d'amortissement | année | 5 | 5 |
| Kilomètres annuels | km | 100.000 | 100.000 |
| Total Amortissement | € | € 70.000 | € 70.000 |
| Réparation et entretien | | | |
| Frais de réparation et d'entretien mensuels | €/mois | 380 | 380 |
| Total Frais de réparation et d'entretien | € | € 22.800 | € 22.800 |
| Carburant | | | |
| Consommation diesel/HVO | l/100 km | 25,97 | 27,27 |
| Prix brut diesel/HVO | €/l | 1,15 | 1,90 |
| Remboursement d'impôts | €/l | -0,248 | -0,248 |
| Prix net diesel/HVO | €/l | 0,902 | 1,654 |
| Total coûts carburant | € | € 117.177 | € 225.524 |
| Consommation AdBlue (%age consommation diesel) | % | 6,0% | 6,0% |
| Prix AdBlue | €/l | 0,300 | 0,300 |
| Total coûts AdBlue | € | € 2.337 | € 2.454 |
| Total coûts carburant | € | € 119.514 | € 227.978 |
| Prix total | € | € 212.314 | € 320.778 |
| Total coûts au kilomètre | €/km | 0,425 | 0,642 |
| Emissions CO2 | ton | 344,10 | 86,03 |

Fig. 12 – TCO HVO (biodiesel)



2.3. Perspectives futures

2.3.1. Valeur résiduelle

La valeur résiduelle d'un véhicule au biodiesel est **la même que celle d'un diesel**, puisqu'il s'agit d'un véhicule qui n'a subi aucune adaptation. Le nouveau propriétaire aura donc le choix du carburant.

2.3.2. Opportunités

Le HVO présente l'**avantage majeur** de s'utiliser dans la majorité des véhicules diesel sans aucune adaptation. Ceci évite aux transporteurs de devoir investir dans de nouveaux véhicules : ils ont la possibilité de **maintenir leur flotte tout en réalisant une réduction très importante des émissions de gaz à effet de serre.**

2.3.3. Menaces

Si le biodiesel contribue à la réduction des émissions de CO₂, c'est parce qu'il recourt à des matières non fossiles. Ce gain est conditionné par le respect du cycle court du carbone. Le CO₂ capté par les plantes lors de leur croissance est rejeté dans l'atmosphère lors de l'utilisation du carburant. Pour que le bilan reste nul, il faut veiller à remplacer, en quantité équivalente, les plantes consommées pour obtenir le HVO.

Pour garantir la dimension durable du HVO, le carburant doit être produit au départ de déchets, d'huiles industrielles recyclées ou de sources 100 % renouvelables telles que les algues.

La disponibilité limitée de ce type de matières premières constitue le principal frein à l'utilisation du HVO.

2.4. Références

[1] Fuel information: Diesel & XTL Mercedes Benz Technical Sales Support, 15/04/2020

[2] “Potential of Used Cooking Oil as Feedstock for Hydroprocessing into Hydrogenation Derived Renewable Diesel: A Review” Josiah Pelemo, Freddie L. Inambao, and Emmanuel Idoko Onuh; Green Energy Solutions Research Group, Discipline of Mechanical Engineering, University of KwaZulu-Natal, Durban 4041, South Africa.

[3] “Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel, Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine” Hannu Aatola, Martti Larmi, Teemu Sarjovaara; Helsinki University of Technology

[4] “Impact of HVO blends on modern diesel passenger cars emissions during real world operation” Ricardo Suarez-Bertoaa, Marina Kousoulidoua, Michael Clairottea, Barouch Giechaskiela, Jukka Nuottimäkib, Teemu Sarjovaarab, Laura Lonzaa;

European Commission Joint Research Centre, Ispra, Directorate for Energy, Transport and Climate, Sustainable Transport Unit, 21027 Ispra, VA, Italy & Neste Corp., Finland

[5] “Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine”, Athanasios Dimitriadis 1, Ioannis Natsios 2, Athanasios Dimaratos 2, Dimitrios Katsaounis 2, Zisis Samaras 2, Stella Bezergianni 1 and Kalle Lehto³; 1 Center for Research and Technology Hellas, Chemical Process & Energy Resources Institute, Thessaloniki, Greece, 2 Laboratory of Applied Thermodynamics, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece, 3 Neste Corporation, Espoo, Finland

3 | Electricité (batterie)

3.1. Composants et fonctionnement d'un moteur électrique équipé de batteries

3.1.1. Technologie

L'utilisation de batteries n'est **pas une nouveauté** dans le monde de la mobilité. Avant l'apparition du moteur à combustion, les premières voitures fonctionnaient à l'électricité. La teneur énergétique des batteries rapportée à leur poids ou à leur volume étant beaucoup trop faible, les véhicules électriques ont rapidement été supplantés par leurs homologues fonctionnant à l'essence ou au diesel.

L'émergence de la technologie Lithium-ion (Li-ion) marque un tournant dans le développement de batteries à haute teneur énergétique. L'essor des smartphones à l'échelle mondiale s'accompagne d'une demande de batteries performantes, pour lesquelles les consommateurs sont prêts à dépenser davantage. Ce marché, qui pèse plusieurs milliards, a incité les fabricants de batteries à en explorer de nouvelles applications, dont la mobilité.

Il existe différentes technologies pour la production de batteries, faisant appel à différents matériaux. La figure 13 en donne un aperçu.

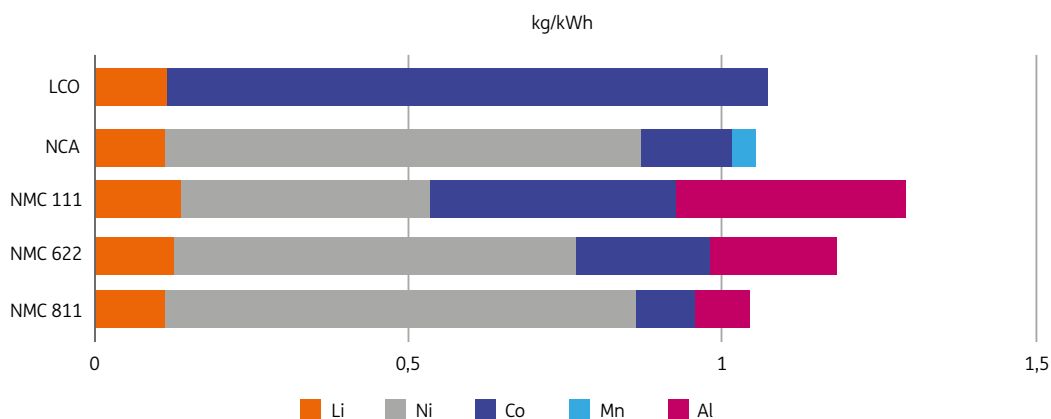


Fig. 13 - Types de batteries Li-ion [1]

Les batteries actuelles sont essentiellement composées de cobalt et de lithium. La disponibilité relativement faible du cobalt, classé comme métal rare, constitue un frein au développement des technologies à base de batteries. **L'évolution vers des batteries sans cobalt** est en marche.

3.1.2. Mode de fonctionnement

Une batterie fonctionne par transfert d'électrons. Elle comporte une borne positive et une borne négative, séparées par un isolant (séparateur) qui oblige les électrons à emprunter le circuit extérieur. Le pôle positif contient du LiCoO_2 , tandis que le pôle négatif accueille des ions Li-ion libres intégrés dans une couche de carbone (figure 14).

Pour permettre la conduction du courant, le pôle positif est équipé d'une plaque d'aluminium alors que le pôle négatif comprend une plaque de cuivre. Lorsque la batterie se décharge - produit de l'électricité -, les électrons se déplacent du pôle négatif au pôle positif. Les ions Li-ion, quant à eux, effectuent le même mouvement, en passant à travers le séparateur, vers le pôle positif, où ils formeront du LiCoO_2 . En mode recharge, une tension externe est appliquée à la batterie de manière à inverser le processus.

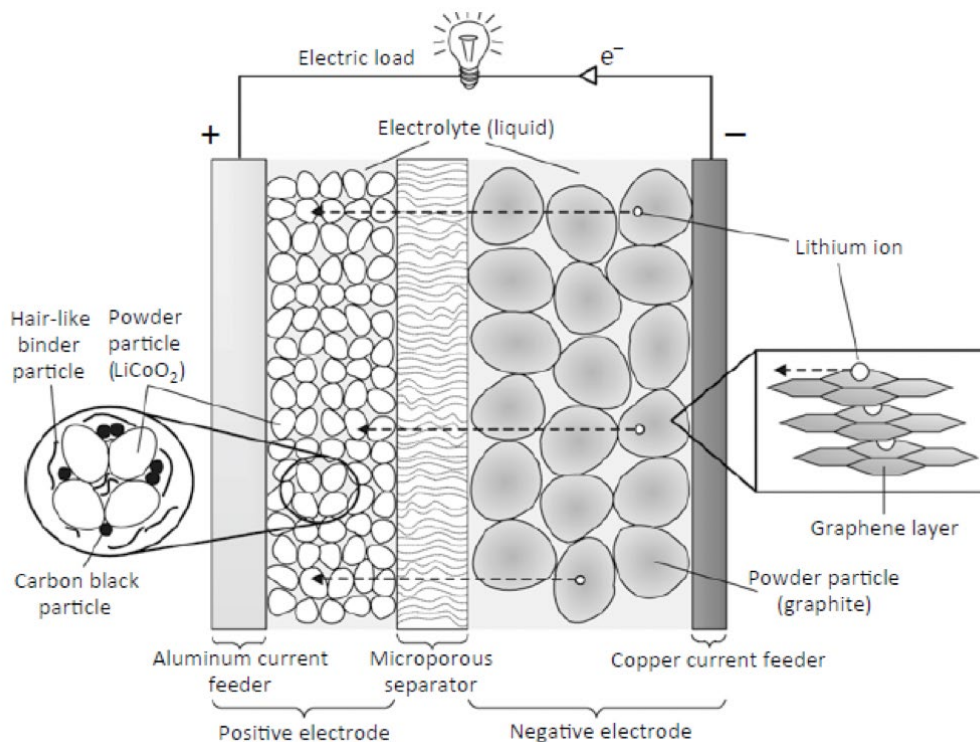


Fig. 14 – Fonctionnement d'une batterie Li-ion [2]

Les charges et décharges successives entraînent la dégradation de la batterie. Sa capacité à stocker de l'énergie diminuera donc avec le temps. Ce phénomène est dû à la désagrégation progressive de la structure LiCoO_2 à la borne positive (figure 15).

Le nombre de fois que la batterie peut être chargée et déchargée est appelé « nombre de cycles de charge ». Plus le nombre de cycles de charge est élevé, plus la durée de vie de la batterie sera longue. Dans le domaine des applications mobiles, les constructeurs considèrent qu'une batterie est en fin de vie à partir d'une capacité de 80 %. Une telle batterie n'en est pas pour autant inutilisable, mais l'autonomie du véhicule a trop diminué pour être acceptable.

Les batteries usagées des véhicules retrouvent d'ailleurs bien souvent une seconde vie, dans des applications statiques. Elles y restent en fonctionnement jusqu'à ce que leur capacité ait diminué au point de les rendre inutilisables. Le nombre de cycles de charge est fortement lié à l'utilisation de la batterie, et notamment au nombre de pics qu'elle doit traiter dans les cycles de charge et de décharge. Les **batteries actuelles** ont un **nombre de cycles compris entre 500 et 2.500**.

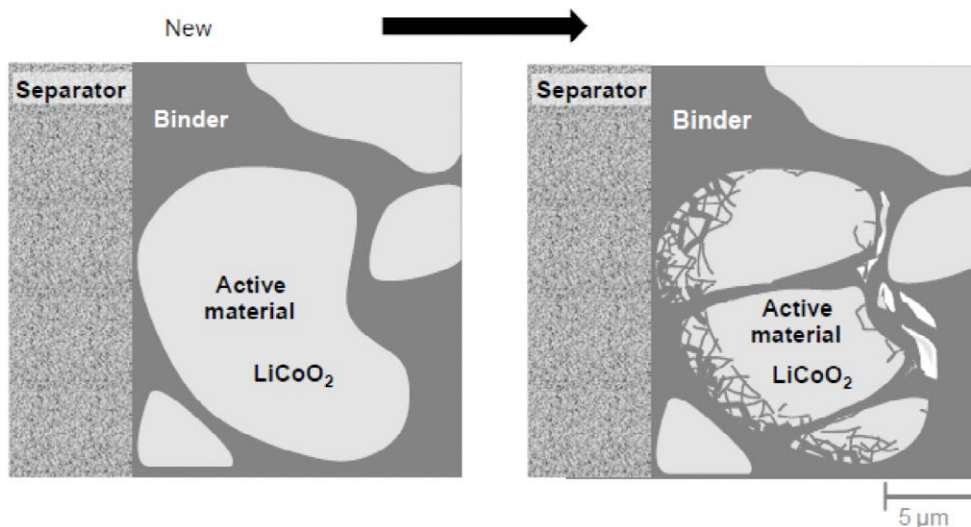


Fig. 15 – Dégradation de la batterie Li-ion [3]

3.1.3. Types de batteries

Le développement des batteries sans cobalt est amorcé. La figure 16 donne un aperçu des différentes technologies disponibles et de leurs propriétés.

| Type de batterie | Type/Constructeur | E° [V] | Densité d'én. massique [Wh/kg] | Densité d'én. volumique [Wh/l] |
|------------------------------|---|---------------|--------------------------------|--------------------------------|
| C/LiCoO ₂ | Cylindrical; VL 34570 - SAFT | 3,7 | 160 | 380 |
| C/LiCoO ₂ | Prismatic; MP 144350 - SAFT | 3,75 | 143 | 344 |
| C/LiCoO ₂ | Prismatic; MP 174565 - SAFT | 3,75 | 175 | 423 |
| C/LiCoO ₂ - based | Cylindrical; ICR18650 - 26F - Samsung | 3,7 | 209 | 581 |
| C/LiCoO ₂ - based | Prismatic; ICP103450 - Samsung | 3,7 | 185 | 415 |
| C/LiFePO ₄ | Cylindrical, VL 45E - Fe - SAFT (High energy) | 3,3 | 156 | 292 |
| C/LiFePO ₄ | Cylindrical; VL 10 V - Fe - SAFT (High power) | 3,3 | 55 | 122 |
| C/LiFePO ₄ | Cylindrical; IFR 18650 - 11P - Samsung | 3,2 | 82 | 213 |
| C/LiFePO ₄ | Cylindrical; ANR 26650 - A123 Systems | 3,3 | 109 | 239 |
| Li/S ₈ * | Prismatic; - Sion Power Corp. | 2,15 | 350 | 320 |
| Li/S ₈ * | n/a - Oxis Energy Ltd. | - | 300 | - |
| Li/O ₂ * | n/a; primary element - Polyplus | - | > 700 | - |

Fig. 16 – Aperçu des différentes technologies disponibles pour les batteries [2]

La batterie fournit, par cellule, une tension variant de 2,15 à 3,75 volts, ce qui est bien trop faible pour alimenter un véhicule. Il est un fait que les véhicules utilitaires requièrent une tension beaucoup plus élevée : entre 400 et 4.000 volts. Pour y parvenir, il est nécessaire de coupler plusieurs cellules, en sachant que la performance de l'ensemble sera déterminée par celle de l'élément le plus faible.

La **performance de l'ensemble de la batterie** est assurée par un système de contrôle qui surveille le fonctionnement des cellules individuelles et apporte les ajustements nécessaires. Il veille notamment à ce que la cellule la plus faible reçoive une charge supplémentaire en transférant de l'énergie au départ des cellules les plus fortes.

3.1.3. Le marché

a. Véhicules utilitaires légers

Le marché des véhicules électriques est **déjà bien développé** en ce qui concerne les utilitaires légers. Actuellement, 22 modèles sont disponibles à la vente avec une **autonomie comprise entre 100 et 275 km**. Presque tous les constructeurs connus en proposent l'une et l'autre variante. Il en va de même des nouveaux acteurs : tout d'abord, Maxus, un constructeur chinois, et d'autres qui ne manqueront pas de suivre. Le site Egear.be donne un aperçu clair des véhicules disponibles sur le marché et des évolutions attendues.

b. Poids lourds

Selon le site Egear.be, 6 modèles de poids lourds sont actuellement disponibles, tant en version porteur qu'en version tracteur. La capacité des batteries varie entre 170 et 350 kwh. L'autonomie du véhicule, qui dépend fortement du poids de chargement et du type de parcours, varie entre 150 et 300 km.

3.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession

3.2.1. Points forts

Les batteries présentent certains **avantages tout à fait spécifiques** aux véhicules électriques (+ cfr hydrogène) :

- Les émissions de CO2 d'un véhicule électrique se limitent aux émissions nécessaires à la production de l'électricité (well to tank). Il n'y a donc pas d'émissions directes associées à son utilisation (tank to wheel), ... hormis les particules produites par l'usure des pneus ;
- un niveau sonore extrêmement faible à basse vitesse (voir Ecoscores)
- la possibilité de récupérer l'énergie de freinage : notamment en distribution urbaine, où le stop and go est la norme, une grande partie de l'énergie de freinage est reconvertie dans les batteries pour être consommée au prochain départ.

3.2.2. Points faibles

Les batteries présentent **deux points d'attention** importants, susceptibles d'avoir l'un et l'autre un impact sur la mise en place de cette solution.

a. Poids

La consommation moyenne d'un camion (26 tonnes) est de 100 kwh/100km et celle d'un attelage tracteur-remorque (min. 40 tonnes) de 138 kwh/100km. [4]

Les batteries les plus performantes à l'heure actuelle offrent une teneur énergétique de 243 wh/kg. L'évolution de la technologie devrait permettre d'atteindre les 500 wh/kg.

Par conséquent, un camion de **26 tonnes avec une autonomie de 100 km** doit emporter 411 kg de cellules de production d'électricité pour un **poids total de la batterie de 600 kg**. L'évolution de la technologie dans les prochaines années permettra probablement de réduire ce poids de moitié, soit 300 kg pour 100 kwh.

Un attelage routier de 40 tonnes a besoin, toujours pour une autonomie de 100 km, d'une batterie de 850 kg, avec la perspective d'une diminution, à terme, à 425 kg. [5]

b. Coût

Le coût des solutions Li-ion les plus récentes est de 160 €/kwh à l'heure actuelle et pourrait être ramené à 100 €/kwh à l'avenir.

Pour un camion de **26 tonnes avec une autonomie de 100km**, le coût s'élève à **16.000 €**, avec une baisse potentielle à 10.000 €. Pour un **tracteur**, il est de **22.000 €**, avec une baisse potentielle à 13.800 €. [5]

3.2.3. TCO

Le coût total de possession d'un véhicule électrique est **fortement dépendant du prix de l'électricité**, dont la marge de fluctuation est énorme : de 5 à 60 cents par kwh.

La figure 17 fournit un aperçu du TCO pour les deux extrêmes, soit 5 et 60 cents/kwh.



| TCO DIESEL/ELECTRIQUE | | | | |
|---|-------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Carburant | Unité | Diesel | Elektrique (5cent) | Elektrique (60cent) |
| Amortissement | | | | |
| Investissement | € | 90.000 | 250.000 | 250.000 |
| Subside | € | 0 | 0 | 0 |
| Valeur résiduelle | € | 20.000 | 45.000 | 45.000 |
| Années d'amortissement | année | 5 | 5 | 5 |
| Kilomètres annuels | km | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Total Amortissement | € | € 70.000 | € 205.000 | € 205.000 |
| Réparation et entretien | | | | |
| Frais de réparation et d'entretien mensuels | €/mois | 380 | 812 | 812 |
| Total Frais de réparation et d'entretien | € | € 22.800 | € 48.720 | € 48.720 |
| Carburant | | | | |
| Consommation diesel | l/100 km | 25,97 | | |
| Prix brut diesel | €/l | 1,15 | | |
| Remboursement d'impôts | €/l | -0,248 | 0,000 | 0,000 |
| Prix net diesel | €/l | 0,902 | 0,000 | 0,000 |
| Total coûts carburant | € | € 117.177 | € - | € - |
| Consommation AdBlue (%age consommation diesel) | % | 6,0% | | |
| Prix AdBlue | €/l | 0,300 | | |
| Total coûts AdBlue | € | € 2.337 | € - | € - |
| Consommation électricité | kg/100 km | | 175,00 | 175,00 |
| Prix électricité | €/kg | | 0,05 | 0,60 |
| Total coût électricité | € | € - | € 43.750 | € 525.000 |
| Total coût carburant | € | € 119.514 | € 43.750 | € 525.000 |
| Prix total | € | € 212.314 | € 297.470 | € 778.720 |
| Total coûts au kilomètre | €/km | 0,425 | 0,595 | 1,557 |
| Emissions CO2 | ton | 344,10 | - | - |

Fig. 17 TCO des véhicules électriques sur la base des tarifs de 5 et de 60 cents/kwh

3.3. Perspectives futures

3.3.1. Valeur résiduelle

a. Véhicules utilitaires légers

En ce qui concerne les véhicules utilitaires légers, le marché existe déjà. La technologie, comparable à celle des voitures électriques, est relativement connue. La demande va continuer à augmenter au cours de la décennie à venir. Un **marché de l'occasion** ne manquera pas de se développer autour de ce segment.

La **durée de vie des batteries** reste la seule grande inconnue à ce jour. Les batteries les plus récentes se rechargent normalement de 2.000 à 3.000 fois. Dans l'hypothèse d'une autonomie de 200 km par charge, les batteries auront une durée de vie d'au minimum 400.000 km. [6] [7]



La **valeur des véhicules sur le marché de l'occasion** n'est pas encore connue. Cependant, tout porte à croire que la valeur des utilitaires légers électriques ne se réduira pas davantage que celle de leurs homologues au diesel.

b. Poids lourds

À quelques exceptions près, les poids lourds électriques ne sont **pas encore présents sur le marché**. En outre, c'est souvent en-dehors de l'Union européenne que les camions retrouvent une seconde vie. Aujourd'hui, il est impossible de prédire l'évolution de ces marchés en matière de mobilité électrique et dès lors illusoire de vouloir estimer la **valeur des véhicules d'occasion**.

3.3.2. Opportunités

La marche vers un **transport « zéro émission »** est entamée, sans possibilité de retour. Dans ce contexte, la vitesse à laquelle le transport électrique entrera dans le monde de la logistique dépendra de l'**évolution des facteurs** suivants :

- le cadre juridique qui, par exemple, peut réserver l'accès de certaines zones aux véhicules propres ;
- la mise en œuvre opérationnelle de ces véhicules, qui dépend de l'évolution des batteries (certainement en ce qui concerne les véhicules de catégorie C).

La mobilité électrique représente certainement une **grande part des solutions de demain**. Quant à savoir quel sera le meilleur moment pour investir, il est encore trop tôt pour arrêter une réponse définitive.

3.3.3. Menaces

Les batteries sont lourdes. Pour 100 km d'autonomie, il faut embarquer un poids en batterie d'environ 850 kg. Même si la technologie permettra à terme de réduire ce poids de moitié, la batterie continuera d'être un **surpoids non négligeable**.

Les batteries lourdes sont difficiles à recharger, car elles nécessitent une **plus grande capacité de chargement**. Le rechargement d'une batterie de 350 kWh durant la période de repos du chauffeur, soit 45 minutes, nécessite un raccordement de 500 kW. À ce jour, il n'existe pas d'infrastructure adéquate pour un tel rechargement rapide. Le **déploiement de ce type d'infrastructures** est donc incontournable.

Les batteries actuelles contiennent des **métaux rares tels que le cobalt et le lithium**. Des alternatives existent pour le cobalt, mais pas encore pour le lithium. Bien que les batteries sans métaux rares soient déjà au cœur des recherches, il est impossible, à ce stade, de prédire du prix des batteries pour les années à venir.

3.4. Références

- [1] Fu et al., Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals (DOI: 10.1016/j.joule.2017.08.019)
- [2] Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications. ISBN 978-3-662-53069-6
- [3] Leuthner S, Kern R, Fetzer J, Klausner M (2011) Influence of automotive requirements on test methods for lithium-ion batteries. Battery testing for electric mobility, Berlin, Germany
- [4] The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis: Heikki Liimatainen, Oscar van Vlietb, David Aplynb
Transport Research Centre Verne, Tampere University of Technology, Finland
Climate Policy Research Group, Department of Environmental Systems Science, ETH Zürich, Switzerland
- [5] Performance Metrics Required of Next-Generation Batteries to Make a Practical Electric Semi Truck: ACS energy letter, <http://pubs.acs.org/journal/aelccp>
- [6] A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle; Xuebing Han, Languang Lu, Yuejiu Zheng, Xuning Feng, Zhe Li, Jianqiu Li, Minggao Ouyang; School of Vehicle and Mobility, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing, 100084, PR China; College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, PR China
- [7] Charging infrastructure for electric vehicles in city logistics; Matthijs Otten, Eric Tol; TNO

4 | Hydrogène

4.1. Composants et fonctionnement

4.1.1. À propos de l'hydrogène

Bien que l'hydrogène soit l'élément le plus petit et le plus abondant sur terre, il ne se trouve jamais sous forme libre, mais toujours en combinaison avec d'autres éléments. Il provient principalement de **trois sources** :

- La grande majorité de la production d'hydrogène provient de la transformation du gaz naturel, ce qui n'apporte pas de solution au problème climatique ;
- L'hydrogène représente également un co-produit de divers processus chimiques. La chimie du chlore, par exemple, génère une grande quantité d'hydrogène. En Belgique, on estime qu'environ 4.000 kg d'hydrogène par heure sont relâchés dans l'atmosphère. Ceci peut, dans une première phase, constituer une source d'hydrogène semi-renouvelable ;
- La forme d'hydrogène la plus intéressante est l'**hydrogène renouvelable**. La production d'hydrogène à partir de l'eau requiert un processus d'électrolyse consommateur d'électricité, qui peut être fournie par des sources d'énergie renouvelable. L'hydrogène trouve des applications dans l'industrie sidérurgique ou chimique, par exemple, pour la production d'ammoniac, et dans le secteur de l'énergie, où il est considéré comme l'un des vecteurs énergétiques les plus importants à long terme.

L'hydrogène n'est pas un carburant, c'est un moyen de stockage de l'énergie, principalement de l'énergie électrique.

4.1.2. Fonctionnement

Pour produire de l'hydrogène renouvelable, il faut de l'énergie renouvelable. Son prix sera donc fortement **tributaire du prix de l'électricité verte** et diminuera au fur et à mesure du développement de l'offre d'énergie renouvelable au fil des ans.

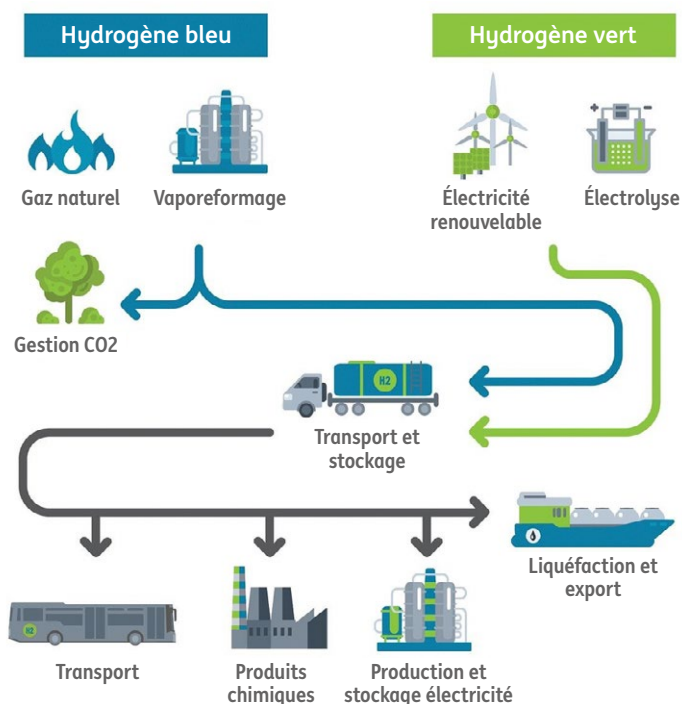


Fig. 18 Le processus de l'hydrogène vert [<https://blog.ballard.com/green-hydrogen-sources>]

La production peut être consommée sur place ou être acheminée vers les différents consommateurs, **par pipeline, sous pression ou sous forme liquide**.

Le **ravitaillement** se fait dans des stations-service aux infrastructures comparables à celles du CNG, et ce, à 350 bars ou 700 bars, selon les technologies utilisées. À l'avenir, l'hydrogène sera également proposé sous forme liquide à une température de -253°C , ce qui rendra le processus de ravitaillement comparable à celui du LNG.

4.1.3. Densité

La densité de l'hydrogène est **faible**. A pression atmosphérique normale, il n'y a que 90 g d'hydrogène dans un mètre cube. A une **pression** de 350 bars, la densité monte jusqu'à environ 21 kg/m^3 et à 700 bars jusqu'à environ 42 kg/m^3 . A l'**état liquide**, l'hydrogène atteint sa densité la plus élevée, soit 71 kg/m^3 .

4.1.4. Teneur énergétique

L'hydrogène a la **teneur énergétique la plus élevée** de tous les combustibles.

| Hydrogène | Essence | Diesel | CNG & LNG |
|-----------------|----------|----------|---------------|
| 120 - 140 MJ/kg | 42 MJ/kg | 43 MJ/kg | 40 - 50 MJ/kg |

Fig. 19 Teneur énergétique par combustible

L'hydrogène dispose d'une teneur énergétique plus de trois fois supérieure à celle de l'essence et du diesel. Celle-ci dépend toutefois du champ d'application : alors que, dans les piles à combustible, l'énergie de condensation peut être exploitée, ce n'est pas le cas dans les moteurs à combustion, la teneur énergétique passant alors de 140 à 120 MJ/kg.

4.1.5. Technologie

a. Pile à combustible

Une pile à combustible peut être comparée à une **batterie qui, au lieu d'être rechargée, est alimentée en hydrogène**. Le débit d'hydrogène déterminera le niveau de courant produit par la pile.

Une cellule de pile à combustible produit une tension électrique allant de 0,7 à 1,1 volt selon la charge. Comme pour les batteries, il faut assembler différentes cellules en un système qui soit capable de fournir la puissance requise pour les applications visées.

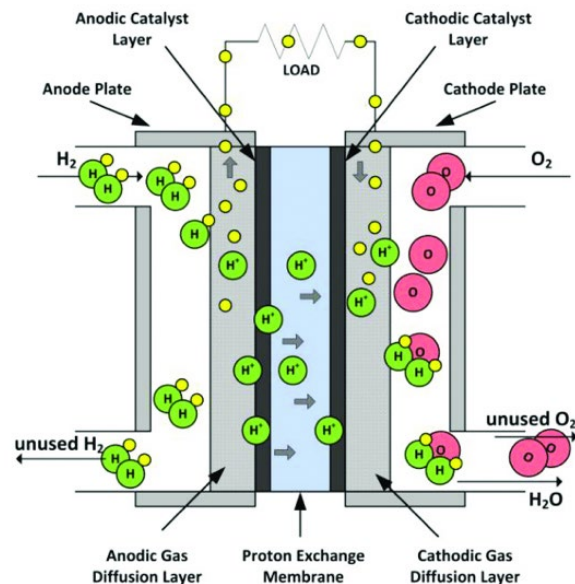


Fig. 20 Pile à combustible - Principe [1]

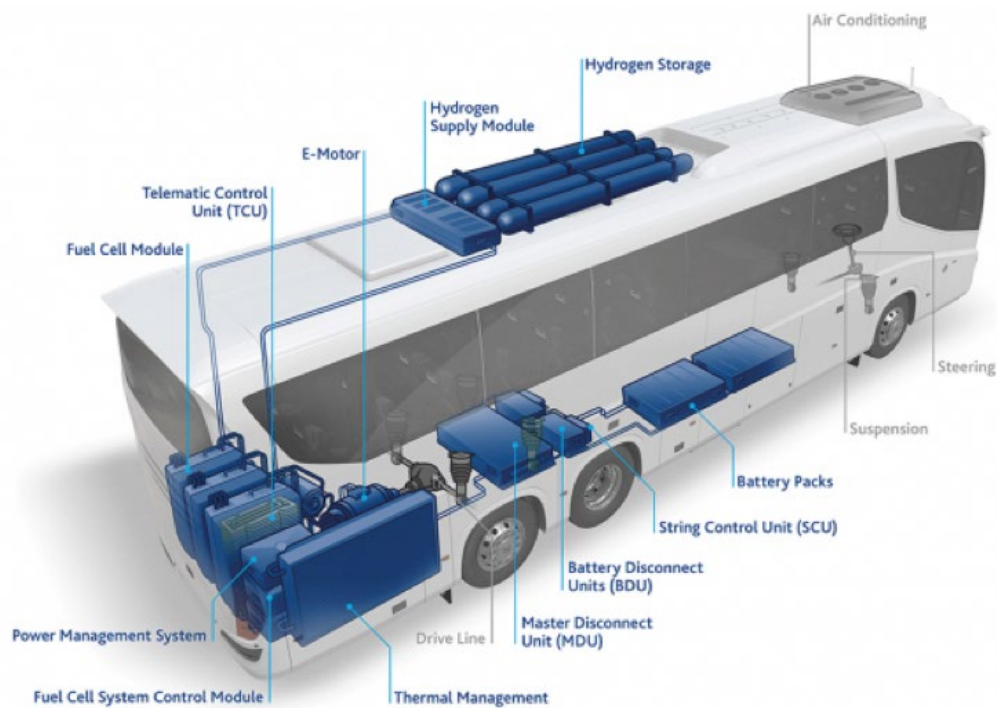


Fig. 21 Pile à combustible - Système complet [2]

La figure 21 représente le système complet d'un bus de tourisme à l'hydrogène. En plus de la pile à combustible, il comprend une batterie qui sert de tampon. La pile à combustible a pour fonction de maintenir l'état de charge de la batterie afin que le moteur électrique du véhicule dispose toujours de la puissance nécessaire. Le **système de propulsion** d'un véhicule à pile à combustible est donc **identique à celui d'un véhicule électrique**. La batterie y est remplacée par le système de pile à combustible associé à une petite batterie-tampon ou un supercondensateur.

Le système de pile à combustible se compose, outre la pile elle-même, des éléments suivants :

- un système d'alimentation en hydrogène, qui assure un surplus d'hydrogène à chaque cellule composant la pile ;
- un système d'alimentation en air, qui contrôle la quantité d'air fournie à chaque cellule. La quantité d'air reçue détermine la production de courant et donc la puissance de sortie.

Ce système a un **rendement supérieur à celui des moteurs actuels**. La consommation en kilogrammes représente environ $\frac{1}{4}$ de la consommation actuelle en litres de diesel.



Fig. 22 - Le moteur à hydrogène de Keyou [3]

b. Moteur à combustion

Les moteurs à combustion sont également en mesure de fonctionner à l'hydrogène. L'entreprise allemande Keyou développe des moteurs à hydrogène dont le **rendement est similaire à celui des moteurs diesel actuels**. La consommation en kilogrammes équivaut environ à la consommation de diesel en litres divisée par 3,3.

L'avantage du moteur à combustion est qu'il permet de conserver le système de propulsion tel qu'il existe actuellement.

Lors de la combustion de l'hydrogène, seule de l'eau est libérée, sans aucune autre émission (valeur λ , figure 23), à condition que le rapport air-carburant soit supérieur à 2. Comme pour les moteurs diesel, il faut dès lors toujours conserver le rapport adéquat. Ce moteur à combustion fonctionne comme un moteur au gaz, qu'il s'agisse de la pression ou du boîtier papillon pour gérer le couple moteur.

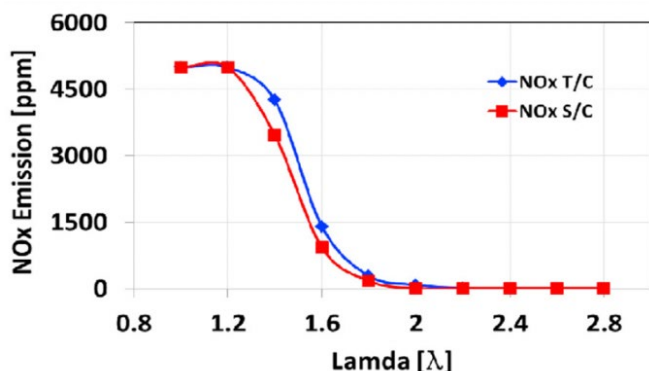


Fig. 23 – Emission de Nox selon le rapport air-carburant [4]

Outre le moteur à combustion classique, **le moteur à pistons libres** (figure 24) arrive également sur le marché. Celui-ci n'a ni système de lubrification ni arbre à cames, ce qui lui confère un **rendement nettement meilleur par rapport aux moteurs connus**. Il n'a pas non plus de vilebrequin et n'assure pas directement la propulsion du véhicule, mais fournit l'électricité nécessaire à la chaîne cinématique.

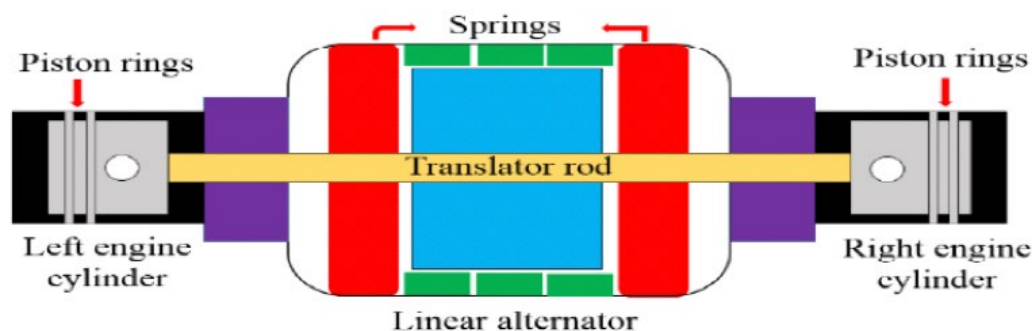


Fig. 24 Moteur à pistons libres [5]

4.1.6. Le marché

a. Utilitaires légers

Renault

En Europe, c'est Renault qui est le fournisseur le plus connu d'utilitaires à l'hydrogène, dans ses modèles Kangoo et Master. Il s'agit de véhicules associant à la batterie une pile à combustible visant à maintenir le niveau de batterie pendant l'utilisation. Cette combinaison donne une autonomie de 350 km.

b. Poids lourds

Mercedes

Selon Mercedes, l'électrique est la meilleure option pour les courtes distances. Pour les moyennes distances, la firme travaille à des solutions à l'hydrogène sous forme gazeuse, tandis que, pour les longues distances, elle a conclu, en décembre 2020, un accord de partenariat avec Volvo Truck Group pour la construction d'un prototype à l'hydrogène liquide et pour l'ensemble des études et essais liés aux futurs véhicules à l'hydrogène.

En effet, l'autonomie des véhicules, limitée à 500-700 km avec l'hydrogène gazeux, est, avec l'hydrogène liquide, comparable à celle des véhicules diesel actuels. Ceci présente l'avantage non négligeable de n'amener aucun changement au modus operandi du transport.

Hyundai

Le Hyundai XCIENT a fait son entrée l'an dernier sur le marché suisse. Il dispose d'une pile à combustible de 190 KW et d'un moteur électrique de 350 KW propulsé par la pile combinée à une batterie-tampon.

Hyzon

Le modèle de Hyzon sera produit aux Pays-Bas à partir de cette année. Cet attelage de 50 tonnes disposera, avec sa pile à combustible de 370KW, d'une autonomie de 600 km.

Scania

Scania, de son côté, a récemment annoncé l'arrêt de ses travaux sur l'hydrogène au profit de l'électrique : pour les courtes distances, l'entreprise préconise les batteries et, pour les plus longues distances, elle travaille également à la construction d'un camion équipé d'un pantographe.

4.2. Points forts/faibles : durée de vie, risques techniques et coût total de possession

4.2.1. Points forts

La **grande force de l'hydrogène** est de permettre une neutralité carbone tout en ne changeant rien au mode de ravitaillement, qui s'effectue de la même manière que pour le CNG et le LNG.

Bien que les piles à combustible contiennent encore une faible quantité de platine, l'utilisation de l'hydrogène **dans les moteurs à combustion** permet d'éviter de recourir aux métaux rares (lithium, cobalt, etc.) mentionnés précédemment.

La demande d'énergies renouvelables est en hausse, ce qui fait baisser les prix. L'hydrogène a l'avantage de pouvoir être produit au moment où le prix de l'électricité est bas pour être stocké en vue d'une utilisation ultérieure. Il permet de dissocier l'offre d'énergie et son utilisation, ce qui accroît la **flexibilité pour l'utilisateur**.

4.2.2. Points faibles

L'hydrogène, qui ne se trouve jamais sous forme libre dans la nature, doit toujours être produit d'une manière ou d'une autre et, ce, dans un souci de neutralité carbone, au moyen d'électricité renouvelable. Il sera ensuite stocké et transporté pour finir par être reconverti en électricité. Le rendement de cette technologie est donc **nettement inférieur à celui d'un véhicule électrique à batterie**. Concrètement, pour un même transport, le besoin énergétique total est plus que doublé. L'hydrogène nécessitera donc plus d'investissements que l'électricité renouvelable.

L'hydrogène est le gaz le plus léger de la terre. Il est stocké sous forme gazeuse ou liquide. Il requiert une pression de stockage élevée (350 ou 700 bars) et, sous forme liquide, une température très basse (-253°C). Quel que soit le mode choisi, le **stockage de l'hydrogène** reste donc toujours un point d'attention particulier.

4.2.3. TCO

Les prix des camions à hydrogène ne sont pas connus et les fournisseurs potentiels n'ont pas pu fournir d'indication concrète. Le TCO sera donc calculé au moyen d'éléments connus à ce stade, tels que le prix d'un réservoir (7.500 €/10 kg) et des piles à combustible (1.000 à 1.300 €/kw).

a. Pile à combustible

Si un groupe motopropulseur électrique intègre une pile à combustible de 150 KW ainsi qu'un stock d'hydrogène de 40 kg, l'ensemble du système reviendra à 180.000 €. Le prix de la batterie est estimé à 50.000 €. Un tracteur à pile à combustible reviendra donc au total à 380.000 €, alors qu'un camion électrique coûte 250.000 € [6] (pour autant qu'il puisse déjà être produit en série).

b. Moteur à combustion

Il faut tout d'abord tenir compte du surcoût du moteur par rapport à la version diesel, qu'il est permis d'estimer à 60.000 €. Il faut ensuite tenir compte des réservoirs. Dans l'hypothèse où une version diesel de base coûterait 90.000 € et où le stock d'hydrogène serait, ici aussi, de 40 kg, un tracteur à hydrogène aurait un prix de 180.000 €.

Actuellement, l'hydrogène **à la pompe** coûte 9 €/kg. Ce prix se verra ramené à 4 €/kg sous l'effet de **l'accroissement de l'offre d'énergie renouvelable**. Le calcul du TCO prend en compte ces deux variantes.

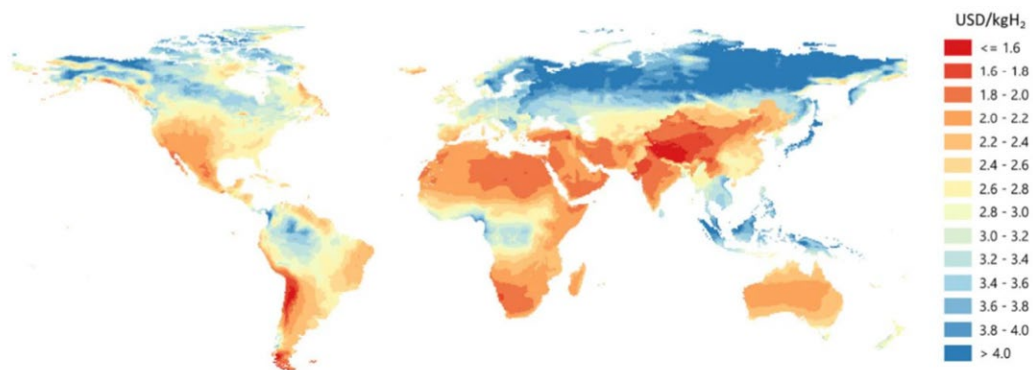


Fig. 25 – Evolution du prix de l'hydrogène [7]

| TCO DIESEL/HYDROGÈNE | | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Carburant | Unité | Diesel | Hydrogène (FC) | | Hydrogène (ICE) | |
| Amortissement | | | | | | |
| Investissement | € | 90.000 | 380.000 | 380.000 | 180.000 | 180.000 |
| Subside | € | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Valeur résiduelle | € | 20.000 | 45.000 | 45.000 | 20.000 | 20.000 |
| Années d'amortissement | année | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Kilomètres annuels | km | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Total Amortissement | € | € 70.000 | € 335.000 | € 335.000 | € 160.000 | € 160.000 |
| Réparation et entretien | | | | | | |
| Frais de réparation et d'entretien mensuels | €/mois | 380 | 450 | 450 | 400 | 400 |
| Total Frais de réparation et d'entretien | € | € 22.800 | € 27.000 | € 27.000 | € 24.000 | € 24.000 |
| Carburant | | | | | | |
| Consommation diesel | l/100 km | 25,97 | | | | |
| Prix brut diesel | €/l | 1,15 | | | | |
| Remboursement d'impôts | €/l | -0,248 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Prix net diesel | €/l | 0,902 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Total coûts carburant | € | € 117.177 | € - | € - | € - | € - |
| Consommation AdBlue (pourcentage consommation diesel) | % | 6,0% | | | | |
| Prix AdBlue | €/l | 0,300 | | | | |
| Total coûts AdBlue | € | € 2.337 | € - | € - | € - | € - |
| Consommation hydrogène | kg/100 km | | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 8,00 |
| Prix hydrogène | €/kg | | 9,00 | 4,00 | 9,00 | 4,00 |
| Total coût hydrogène | € | € - | € 315.000 | € 140.000 | € 360.000 | € 160.000 |
| Total coût carburant | € | € 119.514 | € 315.000 | € 140.000 | € 360.000 | € 160.000 |
| Prix total | € | € 212.314 | € 677.000 | € 502.000 | € 544.000 | € 344.000 |
| Total coûts au kilomètre | €/km | 0,425 | 1,354 | 1,004 | 1,088 | 0,688 |
| Emissions CO2 | ton | 344,10 | - | - | - | - |

Fig. 26 TCO Diesel vs hydrogène

4.3. Perspectives futures

4.3.1. Valeur résiduelle

Le marché des véhicules à hydrogène en est à ses débuts. Le prix de ces véhicules ne manquera pas de connaître une **forte baisse au fil des ans**. Une fois que le marché sera stabilisé, ce prix sera ramené au prix de revient majoré d'une marge de 30 %.



4.3.2. Opportunités

a. Le transport lourd, sur longue distance

L'hydrogène a le grand avantage d'offrir une solution **sans impact sur le modus operandi**. En outre, au regard de l'état des connaissances et évolutions actuelles, il se profile comme **l'alternative la plus appropriée** pour le transport lourd, rapide ou sur longue distance. Par ailleurs, le fait que l'hydrogène fasse partie du **Green Deal** ne pourra que booster les **investissements dans les infrastructures de ravitaillement**.

b. L'aviation

En outre, il faut savoir que la seule solution durable pour l'aviation est l'hydrogène renouvelable, compte tenu de sa teneur énergétique importante par rapport au kérosène et de sa résistance à des altitudes beaucoup plus élevées. Une fois que ce marché aura démarré, **l'hydrogène liquide** fera également son entrée dans la logistique. D'une part, les aéroports se profileront en une forme de hub où il y aura moyen de s'approvisionner en hydrogène liquide, d'autre part, les véhicules conserveront la **même autonomie, mais aussi le même modus operandi** qu'à l'heure actuelle (diesel).

c. L'électricité verte à bas prix

L'offre d'énergie renouvelable augmentant chaque jour, il est permis de s'attendre à des fluctuations de plus en plus fréquentes du prix de l'électricité renouvelable. Lorsque la revente sur le réseau n'est pas rentable, il est intéressant de convertir cette électricité en hydrogène. En-deçà de 20 €/MWh, il est plus intéressant de produire de l'hydrogène que de vendre de l'électricité. Ceci ne fera que renforcer l'offre d'hydrogène sur le marché mondial.

4.3.3. Menaces

a. Des investissements importants

Le rendement de l'hydrogène étant inférieur à celui des batteries, les **montants à investir** seront plus importants que pour la mobilité électrique. Dans un premier temps, l'hydrogène ne trouvera dès lors acquéreur que dans des domaines bien spécifiques pouvant clairement tirer avantage de cette solution.

b. Faible rendement

Les investissements actuels ne seront rentabilisés qu'au moment où le marché viendra à s'accélérer. Ceci requiert **vision et persévérance** de la part des pionniers qui doivent se mettre en quête de marchés de niches où l'hydrogène pourra offrir la solution optimale recherchée.

4.4. Références

- [1] "Adaptive control of membrane conductivity of PEM fuel cell" Alin C., Fărcașa, Petru Dobrab; Technical University of Cluj-Napoca, st. Memorandumului no.28, Cluj-Napoca 400114, Romania
- [2] "Fuel cell application in the automotive industry and future perspective"
A.G. Olabi, Tabbi Wilberforce, Mohammad Ali Abdelkareem; Dept. of Sustainable and Renewable Energy Engineering University of Sharjah, P.O. Box 27272, Sharjah, United Arab Emirates; Mechanical Engineering and Design, Aston University, School of Engineering and Applied Science, Aston Triangle, Birmingham, B4 7ET, UK; Center for Advanced Materials Research, University of Sharjah, PO Box 27272, Sharjah, United Arab Emirates; Chemical Engineering Department, Minia University, Elminia, Egypt
- [3] "Engine Adaptation from Diesel to H2 HP-EGR Lean Combustion Concept" MTZ worldwide 05|2020
- [4] "Effect of supercharger system on power enhancement of hydrogen-fueled spark ignition engine under low-load condition"
Ducduy Nguyen, Young Choi, Cheolwoong Park, Yongrae Kim, Jeongwoo Lee; Department of Environment & Energy Mechanical Engineering, University of Science Technology, 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Republic of Korea; Department of Engine Research, Korea Institute of Machinery and Materials, 156, Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Republic of Korea; Division of Mechanical System Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea
- [5] "Measured and Modeled Performance of a Spring Dominant Free Piston Engine Generator" Ramanjaneya Mehar Baba Bade; West Virginia University
- [6] Charging infrastructure for electric vehicles in city logistics; Matthijs Otten, Eric Tol; TNO
- [7] <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- [8] <https://ecoscore.be/fr/info/ecoscore/euro6>

Le point de vue du secteur

Les entreprises disposent-elles de suffisamment d'informations objectives et scientifiques ?

« Il n'est pas facile pour le secteur de savoir quelles informations sont correctes, dans certains cas, les experts ne le savent pas encore non plus. Pour le transport jusqu'à 26 tonnes et dans un rayon kilométrique de 200 à 500 km, les véhicules électriques sont la meilleure option. Pour les distances plus longues et les transports plus lourds, ce sont les véhicules à l'hydrogène.

Mais Scania a jeté un pavé dans la mare, soutenu par Elon Musk qui estime que l'avenir n'est pas aux véhicules à l'hydrogène. Son argument est que les piles à combustible consomment trois fois plus d'électricité renouvelable qu'un camion électrique à batteries, si l'on prend en compte la distribution, la production et la reconversion. Par contre, Daimler Truck (Mercedes, Freightliner, Fuso...) et Volvo Group (Volvo trucks, Renault Trucks, Mack...) ont décidé de s'allier au sein de CellCentric pour réaliser des véhicules professionnels lourds électriques à hydrogène.

Beaucoup d'informations arrivent de toutes parts. Selon moi, les pouvoirs publics devraient publier des études neutres et objectives, qui tiennent compte de l'infrastructure à mettre en place, du coût et des taxes. Nous avons un besoin urgent de plannings, d'indications quant au coût total d'exploitation et aux performances. De leur côté, les fédérations et les organisations doivent créer une plateforme commune pour actualiser et objectiver l'information. »



Jean-Marie Becker
Intraco Consulting

Que prenez-vous en compte dans l'élaboration de votre business case ?

« Les aspects décisionnels sont essentiellement l'approvisionnement, les taxes et les incitants financiers.

Il est intéressant financièrement d'avoir son propre système d'approvisionnement, mais amortir un tel investissement est plus simple pour une entreprise qui gère une grosse flotte que pour une PME. De plus, l'avenir reste incertain. Quel carburant va émerger : l'hydrogène, l'électrique ou le LNG ?

Nous construisons actuellement un nouveau site et nous avons envisagé d'investir dans notre propre système d'approvisionnement. Nous avons dû reporter l'idée parce que nous ne savons pas quel carburant nous utiliserons dans 5 ans.

De plus, nous devons anticiper l'évolution des taxes, qui pourraient augmenter selon le principe du « pollueur-payeur ». Dans le passé, nous avons toujours acheté des véhicules à la norme Euro la plus haute, car nous savions que les taxes kilométriques, par exemple en Suisse, évolueraient en fonction des émissions.

Les incitants financiers sont intéressants pour lancer la dynamique. Il peut s'agir de subsides, mais aussi de réductions des accises. Si l'on veut stimuler le transport vert aujourd'hui, on pourrait diminuer les accises sur le biodiesel (HVO) demain. Je trouve dommage qu'il n'y ait pas de volonté politique, mais ce serait bien entendu problématique pour le budget de l'État si cette source de revenus venait à disparaître. »



Cédric Capelle
Garsou-Angenot

6 | Comparaison des Ecoscores

L'Ecoscore est un outil développé par le VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) pour permettre aux utilisateurs de comparer **l'impact environnemental des différents véhicules** disponibles sur le marché. Les informations reprises ici seront basées sur la **norme Euro 6**.

L'Ecoscore permet de coter un véhicule selon différents critères de performance environnementale (paramètres) et de lui attribuer un **score de 1 à 100**. Plus le score s'approche de 100, moins le véhicule est polluant. En ce qui concerne les voitures, les modèles les plus performants atteignent un score de 85. Les scores des utilitaires se situent à des niveaux inférieurs.

Il s'agit d'une méthode de comparaison conçue pour les véhicules individuels et utilitaires légers, pas pour les camions. Afin de pouvoir étendre la comparaison aux différentes technologies, la base de calcul de l'Ecoscore est conservée, et les paramètres adaptés aux camions. [1]

6.1. Formules

Diesel

$$\text{Ecoscore} = 100 \cdot \exp[-0.00357 \cdot (0,36 \cdot \text{CO}_2 + 23,17 \cdot \text{HC} + 101,88 \cdot 0,5 + 0,011 \cdot \text{CO} + 1407,75 \cdot \text{PM} + 5,19 \cdot \text{FC} + 0,333 \cdot \text{dB(A)} - 12,39)]$$

HVO

La formule appliquée pour le calcul de l'Ecoscore est la même que celle du diesel, hormis une diminution du facteur d'émissions de CO₂ pour le HVO.

$$\text{Ecoscore} = 100 \cdot \exp[-0.00357 \cdot (0,36 \cdot \text{CO}_2 + 23,17 \cdot \text{HC} + 101,88 \cdot 0,5 + 0,011 \cdot \text{CO} + 1407,75 \cdot \text{PM} + 5,19 \cdot \text{FC} + 0,333 \cdot \text{dB(A)} - 12,39)]$$

LNG

$$\text{Ecoscore} = 100 \cdot \exp[-0.00357 \cdot (0,36 \cdot \text{CO}_2 + 23,17 \cdot \text{HC} + 101,88 \cdot \text{NO}_x + 0,011 \cdot \text{CO} + 1407,75 \cdot \text{PM} + 3,67 \cdot \text{FC} + 0,333 \cdot \text{dB(A)} - 11,76)]$$

Electricité

La formule Ecoscore ci-dessous ne tient pas compte des émissions liées à la production d'électricité (well to tank), ce qui donne une image incomplète de la situation.

$$\text{Ecoscore} = 100 \cdot \exp[-0.00357 \cdot (2,17 \cdot \text{FC} + 0,333 \cdot \text{dB(A)} - 13,33)]$$

Hydrogène

L'Ecoscore ne prévoit pas de formule spécifique à l'hydrogène. La formule utilisée ici sera celle des véhicules électriques, moyennant l'adaptation du paramètre « FC » en fonction de la teneur énergétique de l'hydrogène.

$$\text{Ecoscore} = 100 \cdot \exp[-0.00357 \cdot (72,33 \cdot \text{FC} + 0,333 \cdot \text{dB(A)} - 13,33)]$$

6.2. Paramètres

| | |
|-----------------|--|
| CO ₂ | Emissions de CO ₂ (éq), en g/km Calculées sur la base de la consommation de carburant Pour le HVO : réduction de 80 % par rapport au diesel |
| HC | Emissions d'hydrocarbures, en g/km Pour le diesel : la différence entre les émissions de NO _x et de HC+NO _x , toutes deux en g/km (hypothèse : 120 kW par 100 km et donc, si 2,8 mg/kWh, émissions de 0,0034 g/km) Pour le gaz naturel (Euro 6) : 115 mg/kWh, soit 0,138 mg/km |
| NO _x | Emissions d'oxydes azote, en g/km Pour le diesel (Euro 6) : 240 mg/kWh, et donc, si 120 kWh/100 km, émissions de 0,288 g/km (prise en compte d'une valeur fixe pour les NO _x . [2]) Pour le gaz naturel : 180 mg/kWh, soit 0,216 g/km |
| CO | Emissions de monoxyde de carbone, en g/km Pour le diesel (Euro 6) : si 8 mg/kWh, émissions de 0,0096 g/km Pour le gaz naturel (Euro 6) : si 240 mg/kWh, émissions de 0,288 g/km |
| PM | Émissions de particules fines, en g/km Pour le diesel (Euro 6) : si avec 5,5 mg/kWh, émissions de 0,0066 g/km Pour le gaz naturel : idem diesel |
| FC | Pour le diesel : consommation de carburant (combinée), en l/100 km Pour le CNG : consommation de carburant (combinée), en kg/100km Pour les VE : consommation d'électricité (combinée), en kWh/100km Pour l'hydrogène : consommation en kg/100km |
| dB(A) | Niveau de bruit (conduite), en dB(A). Valeur de 78 dB pour toutes les technologies Une étude allemande sur les bus montre que, à 50 km/h, il n'y a pas de différence entre les différentes technologies, soit 78 dB pour l'ensemble. En effet, à cette vitesse, le bruit des pneus couvre le bruit des moteurs. Un véhicule électrique fera moins de bruit à une vitesse plus faible. [3] |

6.3. Résultats

Le tableau 2 ci-après montre les résultats de l'Ecoscore.

| Émis/km | Diesel | CNG | HVO | EV | Hydrogène |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| CO2 | 670,08 | 508,75 | 134,02 | - | - |
| HC | 0,0034 | 0,138 | 2 | - | - |
| NOX | 0,288 | 0,216 | 0,288 | - | - |
| CO | 0,0096 | 0,288 | 0,0096 | - | - |
| PM | 0,0066 | 0,0066 | 0,0066 | - | - |
| FC | 25 | 18,5 | 25 | 120 | 4 |
| dB(A) | 78 | 78 | 78 | 78 | 78 |
| Ecoscore | 20,43 | 34,30 | 34,49 | 37,73 | 34,03 |

Tableau 2 – Résultats Ecoscore

6.4. Conclusion

S'il y a une conclusion à tirer de l'Ecoscore, c'est que le score des véhicules diesel Euro 6, même les plus récents, se situe nettement en-deçà de toutes les autres alternatives.

Parmi les autres solutions, c'est la mobilité électrique qui obtient clairement le meilleur score, tandis que le HVO et le CNG/LNG sont moins faciles à départager.

Quant à l'hydrogène, c'est à sa moindre teneur énergétique qu'est dû son score inférieur à celui de l'électricité en tant que telle. Pourquoi ? Tout d'abord, en raison d'un rendement énergétique inférieur à celui des batteries électriques. Deuxièmement, l'hydrogène actuel est encore loin d'être renouvelable. Dans l'hypothèse d'une électricité 100 % renouvelable, l'Ecoscore de l'hydrogène sera comparable à celui des véhicules électriques.

6.5. Références

[1] <https://ecoscore.be/fr/info/ecoscore/euro6>

[2] <https://ecoscore.be/fr/info/ecoscore/nox>

[3] Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany; Felix Laiba, Andreas Braun, Wolfgang Ridc; Consulting Engineers Dr. Droscher, Lustnauer Str. 11, Tuebingen 72074, Germany; University of Duisburg-Essen, Universitaetsstr. 5, Essen 45141, Germany; University of Stuttgart, Keplerstr. 11, Stuttgart 70174, Germany; University of Applied Sciences Erfurt, Schlueterstr. 1, Erfurt 99089, Germany

Le point de vue du secteur

Comment les autorités peuvent-elles accélérer la transition vers un transport zéro émission ?

« L'Europe doit proposer un plan pour permettre aux transporteurs d'utiliser effectivement les nouveaux véhicules. Elle doit définir les règles uniformes qui s'appliquent à tous les Etats membres, ainsi qu'aux villes. Jusqu'ici, chacun fixe ses propres règles. Pour le secteur, il est compliqué de toutes les suivre.

Il est également important que les autorités ne commencent à sanctionner les émissions de gaz à effet de serre, par des impôts ou sous d'autres formes, que lorsque les technologies alternatives telles que les batteries électriques et l'hydrogène seront suffisamment matures pour être déployées à grande échelle à un prix acceptable. Je crains que les décideurs franchissent ce cap trop rapidement, et que les taxes supplémentaires sur le diesel reviennent en fin de compte à une pure augmentation d'impôts au lieu d'être un incitant pour les carburants alternatifs. »



Benny Smets
Ninatrans

Le marché est-il demandeur de transports durables ? Comment vos clients soutiennent-ils vos efforts ?

« La situation est très partagée, et cela dépend largement du secteur d'activité de nos clients. C'est chez nos clients actifs dans le B2C que la demande et les ambitions de durabilité sont les plus marquées. Leur demande de durabilité provient souvent directement des clients finaux. Il s'agit pour l'instant souvent de grosses structures, qui ont un plan de réduction des émissions bien défini.

Selon nous, cette demande ne va cesser de croître dans les années à venir.

Bien que la possible augmentation de prix liée à ces formes de transport plus durable puisse parfois être un frein, nous rencontrons néanmoins une attitude constructive de la part de nos clients pour prendre part à des discussions ouvertes sur le sujet.

Selon nous, la solution se trouve dans la collaboration. Chaque partie prenante doit participer au surplus de coûts associé à ces alternatives. C'est ainsi que nous les rendrons viables. »



Pierre Van Mieghem
Van Mieghem Logistics

8 Réseaux de ravitaillement en Belgique et en Europe

8.1. CNG

Pour le CNG, il existe un important **réseau de 3.948 stations-services** bien réparties le long des principaux axes de transport européens. Les véhicules CNG ont une autonomie limitée à environ 400 km. Ils sont donc parfaitement **indiqués pour un usage régional**, où la présence de points de ravitaillement à proximité de la base de départ du véhicule est primordiale.



Fig. 27 – Stations CNG en Europe - (<https://www.ngva.eu/stations-map/>)

8.2. LNG

Les options pour faire le plein de LNG sont plus limitées. En effet, on ne compte que 369 **stations-services** de ce type en Europe. L'autonomie d'un camion au LNG se situe entre 1.000 et 1.500 km. Cette autonomie est suffisante pour une utilisation normale. Cela implique que, pour une activité de transport international en Europe, le véhicule doit être ravitaillé en **carburant au moins une fois pendant la semaine de travail**.

La figure 28 montre la répartition des stations LNG par pays. Comme le montre la figure 29, les stations-services sont réparties le long des principaux axes de transport à travers l'Europe. Le réseau disponible ne constitue donc pas un obstacle à l'utilisation du LNG en intégrant un plein par itinéraire d'une semaine.



Fig. 28 – Stations LNG en Europe (<https://www.ngva.eu/stations-map/>)

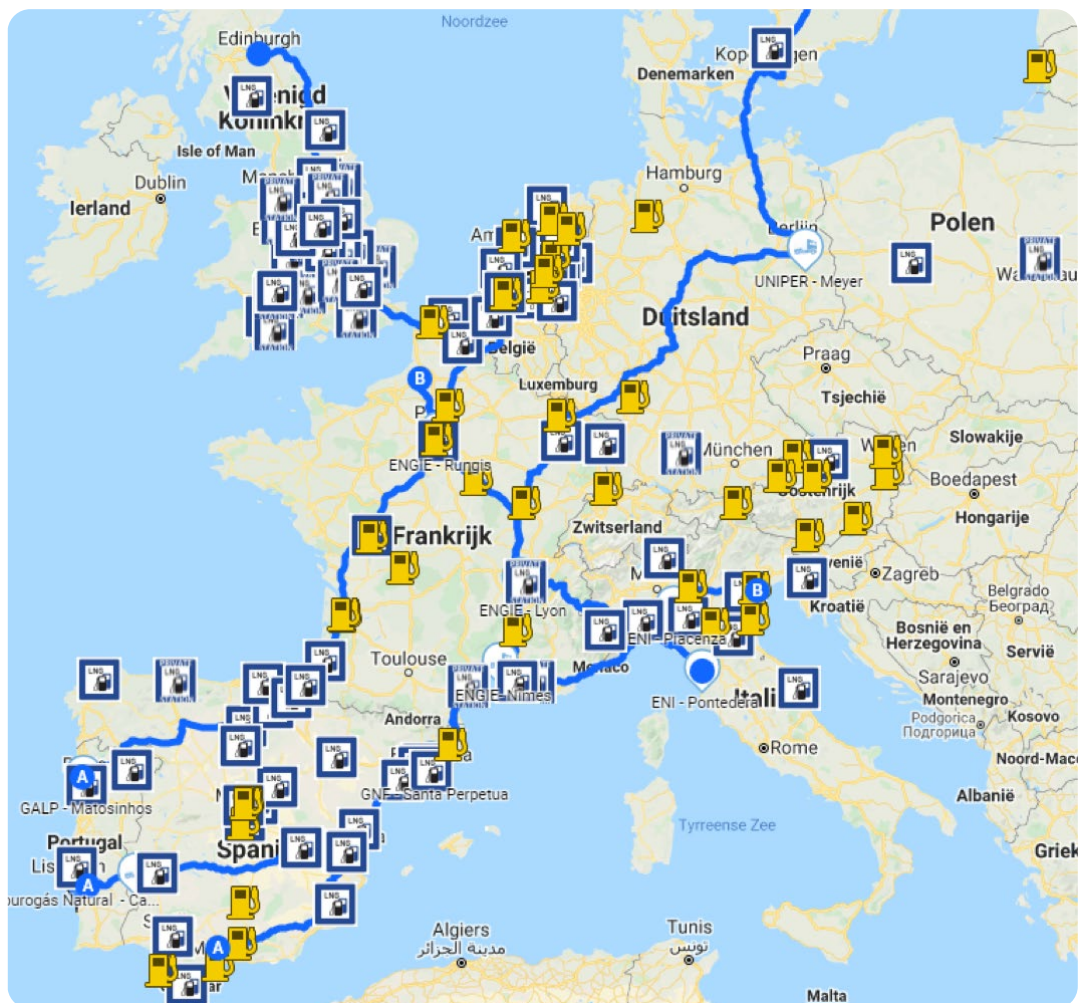


Fig. 29 – Répartition des stations LNG (<https://lngbc.eu/>)

8.3. HVO/biodiesel

Pour le moment, les camions font le plein sur site. Il n'y a pas encore de carte disponible pour le HVO/Biodiesel. On peut donc en déduire que ce réseau ne s'est **pas encore développé**. Toutefois, il est déjà possible de faire le plein de biodiesel auprès de Maes et Q8, notamment. Par ailleurs, il est également possible de ravitailler les camions en diesel ordinaire en cours de route.

Cela rend le biodiesel extrêmement intéressant en tant que carburant de transition, car il permet de déjà réduire considérablement les émissions tout en évitant un investissement élevé dans une infrastructure de ravitaillement.

À l'avenir, le réseau de stations HVO continuera de se développer. L'infrastructure actuelle de ravitaillement ne requiert aucune modification en ce sens. Chaque pays lance des initiatives à petite échelle dans cette direction, mais une percée majeure est attendue prochainement : la balance économique sera favorable au biodiesel lorsque les accises sur l'essence et le diesel auront poussé les prix à la hausse et que le processus de production des biodiesels sera moins onéreux. Ensuite, pays par pays, les stations-services passeront une par une **du conventionnel au biodiesel**.

8.4. Electricité

L'avantage de la conduite électrique est qu'il est, en principe, possible de recharger auprès de n'importe quelle borne. La vitesse de charge est alors limitée à 3,5 kWh. Selon la connexion disponible, les bornes de recharge domestiques ont une capacité allant jusqu'à 22 kW. Dans le cas d'un utilitaire léger ayant une consommation de 35 kWh/100 km et une batterie de 75 kWh, la batterie sera entièrement chargée après 8 heures à une borne de recharge de 11 kW. Les camionnettes peuvent également utiliser les bornes de recharge rapide déjà disponibles.

La situation est très différente pour les camions. Même lorsqu'il est possible de charger à l'entreprise (8 heures), il est question ici d'une capacité de charge de 40 kW et plus. A ce stade, il est donc plus avantageux de recharger les camions sur site et de les utiliser pour de courtes distances sans recharge intermédiaire. Le camion est **ainsi rechargé uniquement à l'arrêt et sur site**.

À ce jour, il n'est pas possible de procéder au chargement rapide en route ou à un quai de déchargement. L'accélération du déploiement doit encore avoir lieu.



Fig. 30 - Bornes de recharge électrique pour véhicules individuels
(<https://fr.charagemap.com/map>)

8.5. Hydrogène

Une infrastructure de recharge est **en plein développement**, tant pour les poids lourds (350 bars) que pour les voitures particulières (700 bars). Les poids lourds ne fonctionnent actuellement qu'à 350 bars. Cela leur permet de couvrir environ 300 à 400 kilomètres. À ce jour, les pompes à 350 bars sont encore peu nombreuses en raison de la faible demande. Toutefois, cela n'implique pas de modification majeure de l'infrastructure existante des stations-services.

Le réseau de stations-services s'étend à partir de la région de la Ruhr. Historiquement, l'Allemagne a toujours été pionnière en matière de développement de l'hydrogène. En toute logique, cette expansion se déroule au sein de la "banane bleue" qui reprend les zones économiquement et industriellement très développées en Europe. En Europe occidentale, la construction d'infrastructures de recharge est en plein essor, là où les distances à parcourir entre les points de chargement et de déchargement sont relativement courtes. Ce n'est pas encore le cas dans les pays d'Europe du Sud (où le CNG/LNG est plus présent).

Le facteur de changement majeur est **de nature socio-économique**. Si la demande d'infrastructures augmente, l'offre suivra le même mouvement. D'autre part, si l'infrastructure se développe, la demande de camions à l'hydrogène augmentera tout autant.

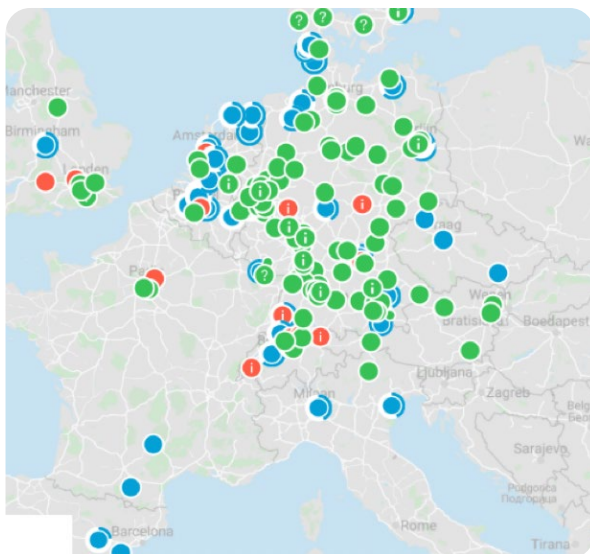


Fig. 31 - Stations hydrogène en 2020 : vert = en activité, bleu = en construction, rouge = en projet
Source : H2.LIVE: Hydrogen Stations in Germany & Europe (<https://h2.live/en>)

Dès que les camions pourront se ravitailler à 700 bars (ce qui reste un développement relativement coûteux), leur rayon d'action sera quasiment doublé.

Cela leur permettra également de se connecter à **l'ensemble du réseau de stations-services à l'hydrogène**. Un réservoir de 700 bars peut également être ravitaillé à 350 bars, son fonctionnement est toutefois ralenti. A 700 bars, il est possible de ravitailler les camions en 15 minutes pour une autonomie de 700 à 800 kilomètres, rayon d'action acceptable pour les longues distances. Ce changement est également soutenu par le Green Deal européen.

9 | Subsides et fiscalité

9.1. Flandre

9.1.1. Ecologisch en Veilig Transport (EVT) | Vlaanderen.be

Les conditions d'accès à ce subside pour un « transport écologique et sûr » sont les suivantes :

- il s'agit d'un véhicule à moteur
- d'une masse maximale autorisée (MMA) supérieure à 3,5 tonnes
- destiné au transport de marchandises sur la voie publique.

En principe, il s'agit de tous les véhicules à moteur qui sont soumis au prélèvement kilométrique et qui sont donc équipés d'un OBU actif.

Le dispositif consiste en une liste de mesures visant à rendre le transport écologique et sûr, accessible à toute entreprise (donc toute entreprise possédant une flotte, même en dehors du secteur du transport). L'entreprise peut introduire une demande de subside direct et unique d'un montant maximal de 5.000 euros par véhicule. Cette mesure était initialement prévue pour 3 ans (2017 à 2019), mais a été prolongée en 2020 vu sa publication tardive.

Le Gouvernement flamand envisage de prolonger cette mesure, mais quelques problèmes se posent :

- Un certain nombre de mesures sont devenues entretemps des obligations légales. À ce titre, elles ne peuvent donc plus être soutenues. Cela implique que la liste doit être adaptée.
- Une seule demande peut être soumise annuellement. La liste doit donc être adaptée avant la publication afin que les entreprises introduisent leur demande en conséquence. En effet, une entreprise ne peut soumettre une demande une seconde fois. Normalement, les demandes peuvent être introduites à partir de février, mais, pour cette année, ce délai sera modifié.
- Le contexte a quelque peu changé : on est en effet passé d'un excédent budgétaire au moment de la conception du dispositif à un déficit budgétaire à l'heure actuelle.
- On note également que, au départ, il ne s'agissait que de véhicules nouvellement immatriculés, mais que beaucoup de ces véhicules sont à présent en "2nd lease" ou se retrouvent sur le marché de l'occasion. Cela pose problème parce que le contrôle est souvent difficile et qu'un même véhicule ne peut être subventionné qu'une seule fois.

Début mai 2021, ce dispositif n'est pas encore accessible pour 2021, mais devrait l'être plus tard dans l'année. Le montant exact des taux de subventionnement et la teneur précise des mesures entrant en ligne de compte ne sont pas encore connus.

9.1.2. Ecologiepremie+ | Agence flamande pour l'innovation et l'entrepreneuriat (vlaio.be)

Cette prime est une intervention financière en faveur des entreprises établies en Région flamande qui réalisent des investissements à caractère écologique. Ce dispositif s'adresse aux entreprises souhaitant organiser leur processus de production de manière à respecter l'environnement et à économiser l'énergie. Une partie de ces investissements est financée par l'autorité flamande par le biais de l'Agence flamande pour l'innovation et l'entrepreneuriat (VLAIO).

Actuellement, la Ecologiepremie+ ne concerne que les camions fonctionnant au gaz naturel et à l'hydrogène avec pile à combustible. Bientôt, les camions, autobus et autocars électriques entreront également en ligne de compte. L'infrastructure de ravitaillement en carburant est également éligible. Il en va de même pour toute technologie, pour autant qu'il ne s'agisse pas d'une technologie standard ou d'une obligation légale.

Pour le transport il s'agit de :

- Conversion de moyens de transport en systèmes dotés de pile à combustible à l'hydrogène pour la propulsion du moyen de transport, offroad inclus
- Conversion vers les moteurs au gaz naturel pour les navires de navigation intérieure
- Conversion vers les moteurs au gaz naturel pour les poids lourds
- Infrastructure de ravitaillement LNG
- Infrastructure de ravitaillement LNG et CNG via fourniture de LNG
- Infrastructure de ravitaillement en hydrogène (coût maximal de 2 millions d'euros par station-service)
- Moyen de transport avec propulsion pile à combustible à l'hydrogène
- Véhicules (max. 3,5 tonnes) au CNG
- Poids lourd dual fuel dont plus de 90 % LNG et moins de 10 % diesel
- Poids lourd au CNG
- Poids lourd au LNG
- Borne de recharge (terrestre) pour navires, avec puissance > 1MVA (1 megavoltampère)
- Investissements pour transport ferroviaire en remplacement du transport routier
- Investissements pour transport par voie d'eau en remplacement du transport routier

Fig. 32 – Liste limitative des technologies

| N° technologie | Nom | | |
|---|---|-----------------------|-------------|
| 201057 | Infrastructure de ravitaillement en hydrogène (coût maximal de 2 millions d'euros par station-service) | | |
| Description | | | |
| Infrastructure de ravitaillement destinée à la fourniture d'hydrogène renouvelable en tant que carburant pour moyens de transport. L'hydrogène renouvelable inclut l'hydrogène produit sur site via électrolyse à pd électricité verte ou l'hydrogène co-produit de l'industrie. Le montant maximal de l'investissement s'élève à 2 millions d'euros par station-service. | | | |
| Surcoût | | | |
| 90% | | | |
| N° Eco | Classe Eco | % PME | % GE |
| 6 | B | 30 | 15 |
| Subside net PME | | Subside net GE | |
| 27 | | 13,5 | |
| Composants essentiels | | | |
| Pistolet distributeur | | | |
| Compresseur(s) | | | |
| Réservoir(s) de stockage | | | |
| Système de production hydrogène renouvelable (unité électrolyse) si production sur site de l'hydrogène | | | |

Fig. 33 – Fiche à compléter

9.2. Wallonie

9.2.1. Prime à l'investissement relative aux équipements de camion « économiseurs d'énergie »

Cette prime s'adresse aux entreprises qui réalisent des investissements relatifs à des équipements visant à réduire la consommation d'énergie ou les émissions sonores d'un véhicule, qu'il s'agisse ou non de transport pour compte de tiers.

- Equipements de véhicules de plus de 3,5 tonnes
- Montant de la prime :
 - plafonné à 5.000 euros par véhicule (camion, tracteur, remorque ou semi-remorque)
 - limité à 15.000 euros par entreprise.

Seule une demande par entreprise peut être introduite. Elle peut porter sur plusieurs véhicules. Pour être admises, les factures doivent être émises au cours d'une période déterminée.

Les équipements admis par véhicule, le montant maximum accepté par équipement ainsi que le montant de la prime sont repris dans le tableau ci-après. L'on notera tout particulièrement l'**équipement CNG/LNG**.

| Equipements visés | Coût max de l'investissement | Taux d'aide (% des équipements visés) |
|--|------------------------------|---------------------------------------|
| Déфлекteur de toit | 1.700 € | 30% |
| Jupes latérales tracteur | 2.000 € | 30% |
| Jupes latérales remorque | 3.500 € | 30% |
| Déфлекteur de culot | 1.000 € | 30% |
| Boîte de vitesse automatisée | 2.600 € | 30% |
| Système automatique de pression des pneus | 1.300 € | 30% |
| Système qui évalue le style de conduite en temps réel et donne une série de conseils visant à réduire la consommation (abonnement - prix/an) | 1.700 € | 30% |
| Système de navigation intelligent et d'assistance à la conduite | 3.000 € | 30% |
| Phares à LED | 1.000 € | 30% |
| Système de réduction de la charge à l'essieu | 700 € | 30% |
| Unité frigorifique réduisant l'impact écologique | 10.000 € | 30% |
| Dolly pour écocombis | 20.000 € | 30% |
| Coating plancher | 1.700 € | 30% |
| Transpalette silencieux alimenté électriquement | 1.600 € | 30% |
| Pneumatiques étiquetés de classe d'efficacité en carburant A ou B telle que définie par le règlement (CE) n°1222/2009 du 25 novembre 2009. - Maximum 8 pneumatiques par véhicule - Maximum 500 € par pneumatique | 4.000 € | 30% |
| Équipement CNG/LNG (surcoût d'un véhicule neuf par rapport à un véhicule EURO VI) | 40.000 € | 30% |
| Bâche coulissante électrique | 4.500 € | 30% |

Fig. 34 – Equipements concernés par l'aide à l'investissement relatif aux équipements de camion

Ce dispositif, qui fonctionne sur base annuelle, est **en cours de renouvellement**. Les informations ci-dessus ne sont fournies qu'à titre informatif. Lorsque la prime sera à nouveau disponible, les factures concernées devront être émises entre le 01/08/2020 et le 31/07/2021. Il ne sera possible d'introduire une demande de prime à l'investissement qu'à partir de ce moment-là (voir <https://www.wallonie.be/fr/demarches/demander-une-prime-investissement-pour-les-equipements-de-camions>).

9.2.2. Prime pour l'achat d'un véhicule CNG/LNG ou le post-équipement sur un véhicule existant

Cette prime à l'investissement vise à promouvoir les véhicules de plus de 3,5 tonnes alimentés au gaz. Elle s'adresse aux entreprises souhaitant faire l'acquisition d'un véhicule neuf fonctionnant au CNG/LNG ou installer un post-équipement sur un véhicule existant, que ces véhicules soient destinés ou non au transport pour compte de tiers (à noter toutefois l'exclusion de certains secteurs). La base subsidiable pour chaque investissement consiste en un surcoût, tel que précisé dans le tableau ci-dessous (figure 35).

- véhicules de plus de 3,5 tonnes
- montant maximal prix d'achat d'un véhicule neuf :
 - 100.000 euros pour le CNG
 - 120.000 euros pour le LNG
- limitée à 30 camions par entreprise

| Prime | Inv. Admis = surcoût | Taux bruts | | Taux nets | |
|--|----------------------|------------|-----|-----------|-----|
| | | PME | GE | PME | GE |
| Post-équipement CNG/LNG | 100% | 30% | 15% | 30% | 15% |
| Achat véhicule neuf CNG plafonné à 100.000 € | 30% | 50% | 40% | 15% | 12% |
| Achat véhicule neuf LNG plafonné à 120.000 € | 40% | 50% | 40% | 20% | 16% |

Fig. 35 – Investissements CNG/LNG éligibles et modalités d'intervention

Exemple pour un véhicule LNG :

- PME : 24.000 €
- GE : 19.200 €

Au stade actuel, ce dispositif est accessible jusqu'au 31 décembre 2021. Il n'est toutefois pas exclu qu'une prolongation soit décidée d'ici là.

9.3. Pays-Bas

Aux Pays-Bas, les subsides destinés à encourager le verdissement du secteur des transports sont accordés par l'Office National pour l'Entrepreneuriat (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland ou RVO). Un guide des subventions est également disponible sur [Subsidiewijzer](#).

| Mesures | |
|--|--|
| Déduction pour Investissement Energétique (EIA – Energie InvesteringsAftrek) | <ul style="list-style-type: none"> Une réduction du CO2, les techniques d'efficacité énergétique et les énergies renouvelables Liste des énergies : liste qui reprend les techniques éligibles Pour des investissements prédéfinis que des investissements personnalisés Déduction fiscale jusqu'à 45,5 % Budget : 149 millions € (2021) |
| Déduction pour Investissement Environnemental (MIA – Milieu InvesteringsAftrek) Amortissement Aléatoire des Investissements Environnementaux (Vamil – Willekeurige Afschrijving milieu-investeringen) | <ul style="list-style-type: none"> Investissements dans des technologies respectueuses de l'environnement Liste environnementale : liste qui reprend les techniques éligibles MIA : déduction fiscale jusqu'à 36 % Vamil : amortissement des coûts d'investissement jusqu'à 75% Budget MIA : 114 millions € (2021) Budget Vamil : 25 millions € (2021) <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> - Châssis de camion-caisse, tracteur ou bus hybride rechargeable : 27 % MIA, 75 % Vamil - Bus à hydrogène : 36 % MIA, 75 % Vamil - Camion électrique ou à hydrogène : 36 % MIA, 75 % Vamil - Châssis de camion-caisse ou tracteur de camion LNG : 13,5 % MIA |
| Démonstration de technologies et d'innovations climatiques dans les transports (DKTI – Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport) | <ul style="list-style-type: none"> Vise l'accélération du développement technologique dans l'ensemble du secteur des transports Axé sur la R&D |
| Régime de subventions LNG (LNG Subsidiëringsregeling) | <ul style="list-style-type: none"> Valable du 1^{er} janvier 2020 au 31 décembre 2021 18,7 centimes d'euro/kg Déduite directement à la pompe |
| Directive des Energies Renouvelables (Richtlijn Hernieuwbare Energie - RED II) | <ul style="list-style-type: none"> Obligations en matière de réduction des gaz à effet de serre pour le secteur du transport Dispositif « Energie voor Transport » <p>HBE : Unités de Carburant Renouvelable</p> <ul style="list-style-type: none"> HBE : livraisons d'énergie renouvelable au secteur du transport Enregistrement dans le Register Energie voor Vervoer 1 HBE = 1 gigajoule Les entreprises peuvent créer des HBE elles-mêmes, les acheter et les échanger Les HBE ne peuvent faire l'objet d'échanges internationaux L'HVO est éligible ici |

Fig. 34 – Liste subsides écologie

9.4. Allemagne

9.4.1. Exonération de la Maut

En Allemagne, une réduction directe de la Maut est appliquée pour les véhicules CNG et LNG. Cette exonération est totale jusqu'à fin 2023. Cette mesure est contestée par l'Europe, mais a bien été maintenue jusqu'à cette date. Les transporteurs néerlandais qui profitent déjà d'une aide directe de 18,7 centimes d'euro/kg sur le LNG (jusqu'à fin 2021) bénéficient ainsi d'un double avantage.

9.4.2. Tarification des émissions dans les secteurs du transport et de la construction

Le Gouvernement allemand a décidé d'appliquer un prix sur les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs du transport et de la construction à partir de 2021. L'idée est d'encourager ces secteurs à atteindre plus rapidement leurs objectifs climatiques. Au départ, il s'agira d'un prix fixe qui augmentera ensuite chaque année. À partir de 2026, les quotas d'émission autorisés seront mis aux enchères. L'ensemble affecte les prix de l'essence et du diesel de plusieurs centimes d'euro par litre depuis le 1^{er} janvier 2021, date d'entrée en vigueur de la loi.

Qui paiera quoi ?

- les carburants de transport et de chauffage tels que le pétrole, le diesel, le mazout, le gaz naturel et le charbon
- les émissions liées au chauffage dans le secteur de la construction et les installations énergétiques et industrielles qui ne sont pas déjà couvertes par le système communautaire d'échange de quotas d'émission (le système ETS)
- les émissions du transport, à l'exclusion du transport aérien
- les émissions non liées aux combustibles sont exclues (par exemple, le méthane dans l'agriculture)
- les entreprises n'étant pas elles-mêmes à l'origine des émissions, mais celles qui mettent les carburants en circulation ou les fournisseurs de carburants (upstream ou comptabilisation à la source)
- selon les autorités allemandes, environ 4.000 entreprises y participeront directement
- afin d'éviter une double charge venant à la fois du système national et de l'ETS européen, les livraisons aux installations ETS seront exemptées et dédommagées au cas où cela entraîne une surcharge administrative.

Coût

- Un prix fixe en 2021 : 25 euros par tonne (de CO₂ eq.¹). En pratique, cela entraîne une augmentation de 7 centimes par litre pour l'essence et de 8 centimes par litre pour le diesel
- 2022 : 30 euros, 2023 : 35 euros, 2024 : 45 euros, 2025 : 55 euros
- Vente aux enchères en 2026 avec une fourchette de prix de 55-65 euros
- A partir de 2027 : prix du marché, avec une option pour des fourchettes de prix (à définir en 2025)

¹ L'équivalent CO₂ est une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global (PRG). Les quantités des divers gaz émis en sont converties en la quantité équivalente de dioxyde de carbone.

Le point de vue du secteur

Les incitants publics ont-ils un réel impact sur les investissements ou sur le choix des véhicules ?

« D'après moi, de tels incitants peuvent créer l'effet de levier qui rend possible un déploiement global. Dans le cas de l'hydrogène, par exemple, pour le moment nous sommes confrontés au paradoxe de l'oeuf et de la poule : tout le monde attend que quelqu'un d'autre fasse un pas supplémentaire. Dans pareil cas, le soutien public peut apporter du concret tant pour les constructeurs que pour les transporteurs, en investissant intensivement dans les infrastructures par exemple.

Il faut également que les mesures de soutien soient simples d'application, ce qui n'est pas le cas pour le LNG. Beaucoup de temps s'écoule avant que le subside soit versé dans son intégralité. Les grandes entreprises peuvent peut-être faire face au surcoût, mais son importance ne doit pas être sous-estimée pour les pme. »



Filip De Clercq
Gilbert De Clercq

« Pour notre activité, le transport de personnes, il n'y a tout simplement aucun incitant public. Dans les appels d'offres pour le marché public, le prix reste trop souvent le principal critère de décision. Les critères environnementaux ne sont pas vraiment pris en compte. Le TEC verdit dans le cadre des lignes qu'il opère lui-même, mais pour les sous-traitants il n'y a aucun intérêt à rouler à l'électrique. Il n'est pas étonnant de constater que, pour être compétitifs, certains roulent avec de vieux bus peu écologiques. »

Jean-François Defour
Voyages Léonard





II. Enquête

1 | Contexte de l'étude

Cette enquête évalue les perceptions des acteurs du secteur du transport et de la logistique relativement aux motorisations alternatives. Ces informations permettent de mieux comprendre l'état des connaissances des acteurs du transport et de la logistique en la matière, leurs dynamiques d'investissement et les conditions pour améliorer ces dernières.

Pour ce faire, une consultation en ligne a été organisée par le bureau Colko via la plateforme Mesydel. Au total, 167 participants ont pris part à cette consultation menée entre janvier et mars 2021 au moyen de deux questionnaires successifs. Les motorisations alternatives concernées sont le CNG, le LNG, les biocarburants, les carburants synthétiques, l'hydrogène vert, l'électricité et l'hybride.

Les résultats de cette enquête offrent ainsi des pistes de réflexion tant pour les acteurs économiques que pour le monde politique.

2 | Un constat important : la nécessité d'actions concertées dans un cadre clair et pérenne

La principale conclusion de cette enquête est que la réduction des gaz à effet de serre est perçue comme une priorité par de nombreux acteurs du secteur et que 80 % d'entre eux sont prêts à prendre le chemin d'une décarbonisation de leurs activités, comme l'indique le graphique ci-après.

Êtes-vous prêts à contribuer à la diminution des GES de 55 % (comparé à 1990) d'ici à 2030 ?

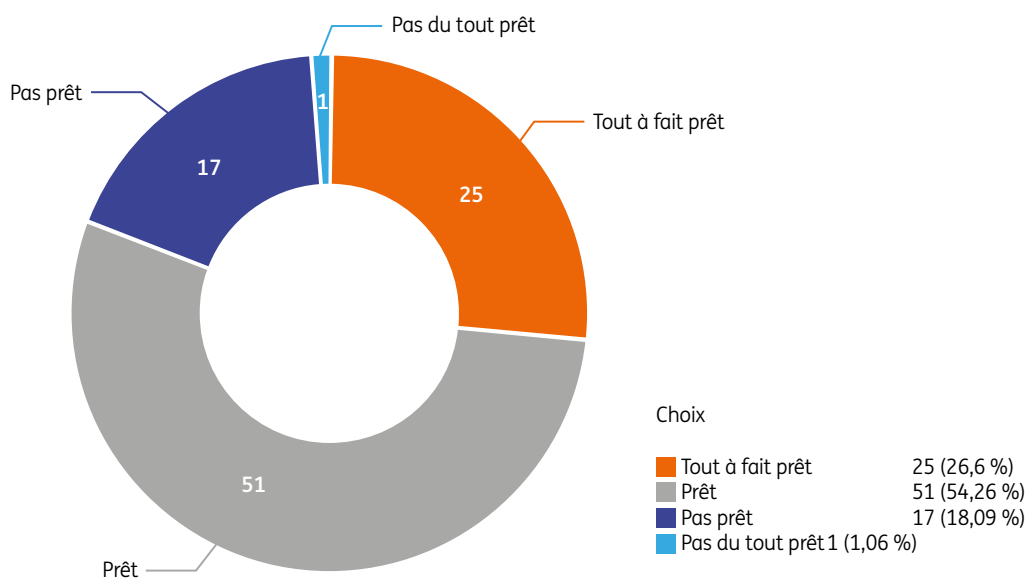


Fig. 36 – Verdir le transport : une priorité ?

Toutefois, ce processus doit s'envisager selon eux comme une responsabilité partagée. Les acteurs du transport et de la logistique ne peuvent être les seuls à la manœuvre et appellent à une action concertée avec, d'une part, leurs clients et fournisseurs, mais aussi, d'autre part, avec les autorités publiques qui détiennent en leurs mains des leviers d'action.

La concrétisation des ambitions en matière de réduction d'empreinte carbone (d'ailleurs alignées sur les objectifs européens) ne pourra être que le résultat d'actions concertées et inscrites dans un cadre clair et pérenne.

Dans ce contexte, la construction d'une vision commune et l'investissement public dans des infrastructures semblent être deux des enjeux primordiaux.

3 | L'intérêt du secteur pour les motorisations alternatives

Si moins d'un participant à l'enquête sur trois indique disposer de véhicules à motorisation alternative dans sa flotte. Une majorité d'entre eux considèrent qu'ils disposent d'informations en suffisance pour investir dans certains types de véhicules. Néanmoins, comme l'indique le second graphique ci-dessous, cette connaissance suffisante pour investir n'est pas égale entre les différentes motorisations alternatives : rares sont les participants qui disposent simultanément d'une connaissance suffisante relativement à l'ensemble des motorisations considérées.

Disposez-vous de véhicules utilisant des motorisations alternatives dans votre flotte ? (Plusieurs réponses possibles)

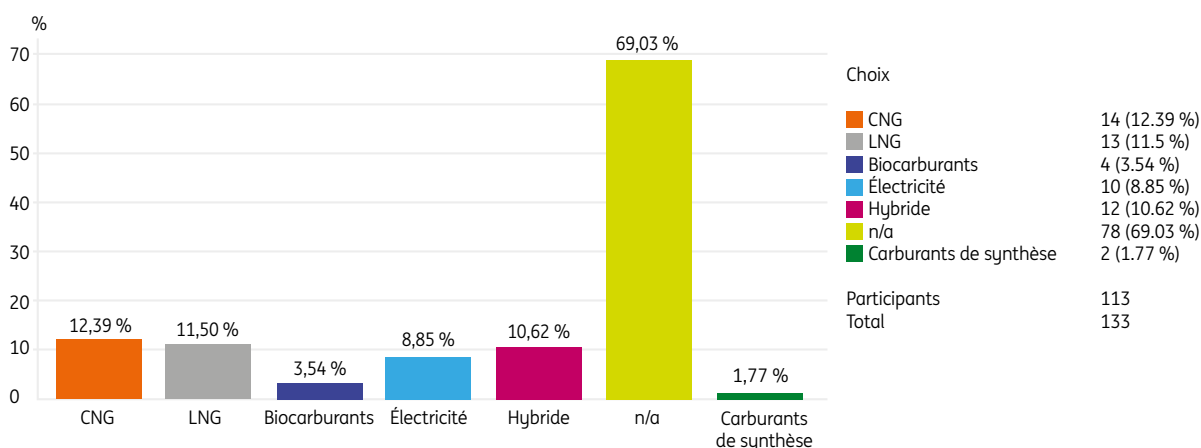


Fig. 37 - Flotte

Parmi les motorisations alternatives ci-dessous, lesquelles connaissez-vous suffisamment pour y investir ? (Plusieurs réponses possibles)

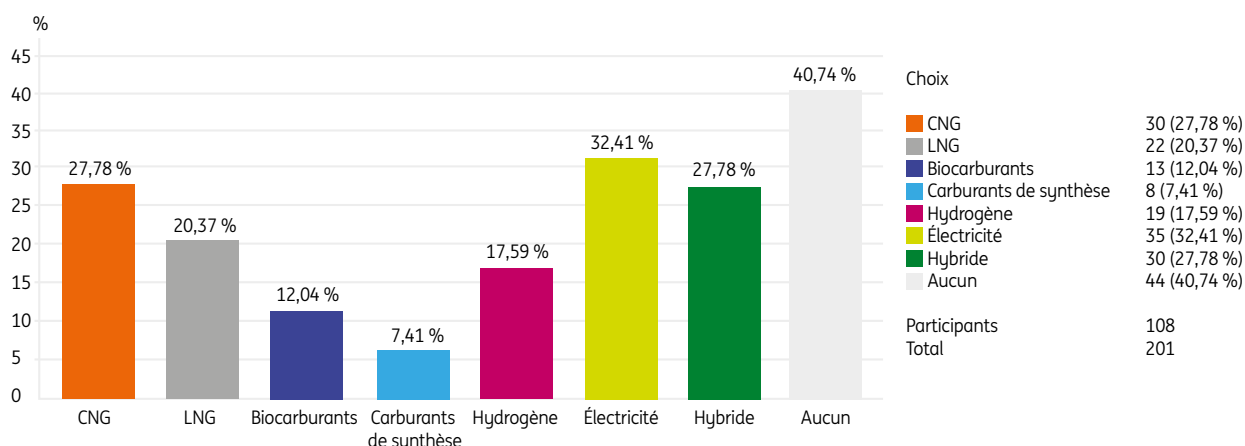


Fig. 38 - Connaissance des solutions alternatives

En ce sens, de nombreux répondants souhaitent disposer d'informations sur les technologies, leurs applications, les politiques menées et les coûts à long terme des investissements.

4 | Les motivations et obstacles à l'investissement

Si nous analysons plus en profondeur les motivations des acteurs à s'engager, cinq éléments, souvent combinés, ressortent clairement :

- la volonté d'adopter une **démarche responsable en matière d'environnement**
- le souhait d'assurer une **rentabilité économique** à l'investissement consenti, que ce soit par une meilleure performance ou par des incitants fiscaux s'ils existent
- la nécessité d'assurer une **facilité organisationnelle et opérationnelle** avec, notamment, le besoin de points de ravitaillement en suffisance, mais aussi la diffusion de pratiques entre organisations proches,
- la nécessité de se conformer à certaines **réglementations** concernant, par exemple, les zones à basse émission,
- le souci d'améliorer **l'image de marque** de son entreprise à travers l'engagement dans une démarche éco-responsable.

L'enquête confirme qu'une démarche environnementale n'est valable que si elle va de pair avec une viabilité économique suffisante. Cela est d'ailleurs confirmé par les trois obstacles majeurs avancés par les acteurs, à savoir :

- le **coût**, qu'il s'agisse de l'achat du véhicule, de la rentabilité de l'investissement ou des formations
- le nombre limité de points de **ravitaillement**
- l'adéquation entre la technologie utilisée et les **besoins organisationnels** de l'entreprise

Ce dernier point requiert une attention particulière, car les participants à l'enquête mettent en lumière la nécessité de limiter au maximum les perturbations sur l'organisation opérationnelle de leur entreprise qui impacterait la rentabilité.

Cette question est d'autant plus importante dans un domaine d'activité où les marges sont déjà très faibles et où les clients semblent relativement peu enclins à payer un prix plus important pour soutenir une démarche plus verte. L'incertitude et le manque de perspectives perçus quant à l'action des pouvoirs publics en matière de fiscalité notamment empêchent les acteurs interrogés de procéder à une analyse financière globale.

Laquelle de ces motivations est la plus importante ?

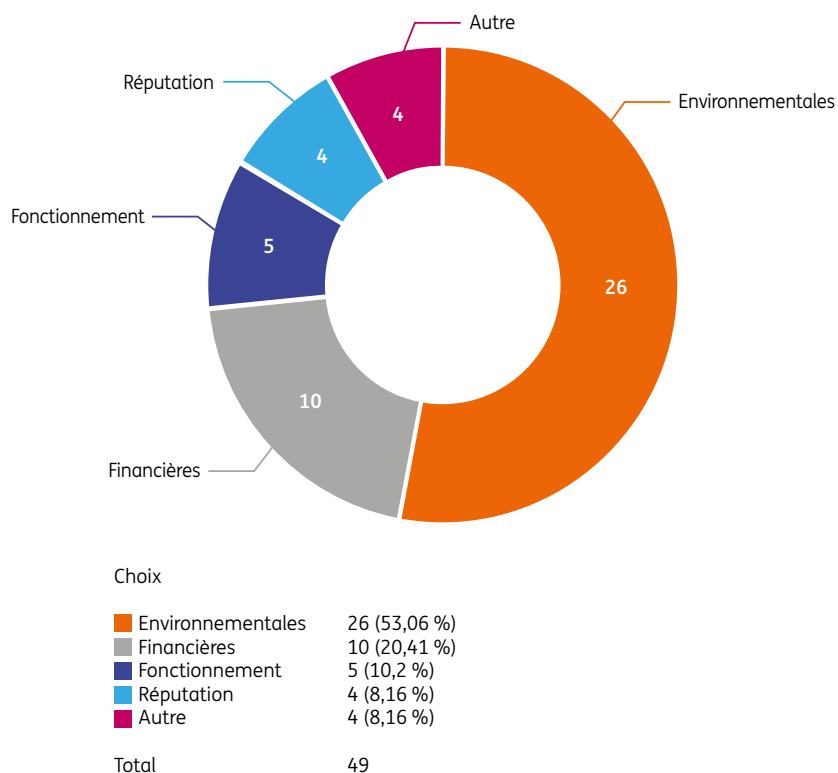


Fig. 39 - Motivations

5 | Les facteurs de décision pour investir dans les motorisations alternatives

Les facteurs de décision pour procéder à des investissements en matière de motorisations alternatives peuvent se résumer en cinq points :

- Coût et TCO : sur ce point, les deux éléments primordiaux pour la plupart des répondants sont le prix et les potentielles déductions fiscales. À ce sujet, les acteurs estiment que le surcoût lié aux motorisations alternatives pourrait être, notamment, pris en charge par les pouvoirs publics,
- Praticabilité de ces véhicules : la préoccupation majeure est ici l'autonomie des véhicules mais également leur fiabilité et leur sécurité,
- Aspects socio-économiques : le fait de mener des activités socialement responsables, les cotations sur les plateformes de notation et l'obtention d'une certification environnementale (telle que Lean & Green, par exemple) sont relevés comme étant les aspects principaux,
- Aspects politiques : l'action des pouvoirs publics est relevée comme étant potentiellement incitative par le truchement notamment des marchés publics. À un autre niveau (et comme déjà mentionné), l'intervention des pouvoirs publics dans la prise en charge du surcoût est considérée comme importante,
- Aspects environnementaux : la réduction des gaz à effet de serre et celle des particules fines sont relevées comme les aspects les plus importants, suivis par la réduction du bruit.



6 | Des investissements complexes et spécifiques à chaque organisation

Dans cette enquête, les acteurs interrogés sont conscients que les solutions d'avenir ne seront pas dépendantes d'un type de motorisation, mais bien d'un mix de technologies. Une adéquation entre la technologie choisie et le type d'usage sera nécessaire.

Dans ce cadre, il apparaît clairement que les choix de technologies seront multifactoriels et guidés par une approche fine des besoins de l'entreprise et par le type de logistique et de transport qu'elle réalise.

Trois facteurs guideront le choix d'investissement :

- la catégorie de véhicule,
- son rayon d'action
- la temporalité de l'investissement.

Ainsi, l'électricité pourrait trouver son chemin prioritairement pour du transport de marchandises et de personnes en milieu urbain avec un court rayon d'action et de nombreux arrêts, alors que l'hydrogène serait privilégié à terme pour les transports lourds avec de nombreux arrêts ou pour de longues distances parcourues.

Avant d'en arriver là, le LNG est vu par de nombreux participants comme une étape intermédiaire.

Enfin, les bio-carburants et carburants de synthèse soulèvent également des questions, notamment parce que produits partiellement à partir d'huile de palme, ce qui les met en contradiction avec la volonté des entreprises d'avoir une démarche éco-responsable.

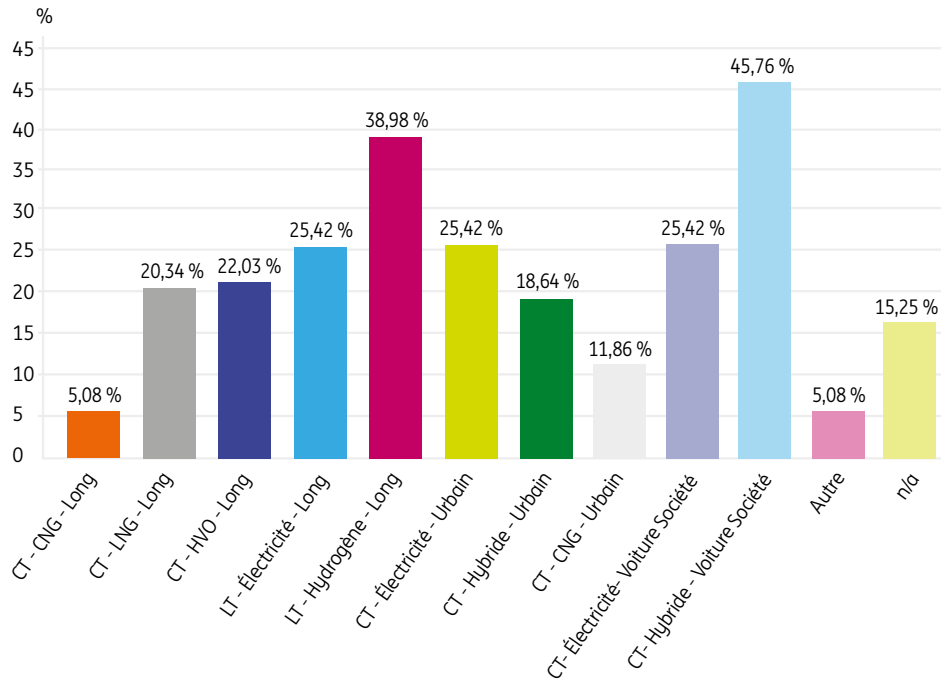


La plupart des participants indiquent une volonté d'investir dans ces nouvelles motorisations avant la fin 2024.

Laquelle de ces propositions s'applique selon vous à :

- la catégorie du véhicule
- le rayon d'action
- l'horizon d'investissement (court ou long terme)

(plusieurs réponses possibles)



Choix

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| CT - CNG - Long | 3 (5,08 %) |
| CT - LNG - Long | 12 (20,34 %) |
| CT - HVO - Long | 13 (22,03 %) |
| LT - Électricité - Long | 15 (25,42 %) |
| LT - Hydrogène - Long | 23 (38,98 %) |
| CT - Électricité - Urbain | 15 (25,42 %) |
| CT - Hybride - Urbain | 11 (18,64 %) |
| CT - CNG - Urbain | 7 (11,86 %) |
| CT - Électricité- Voiture Société | 15 (25,42 %) |
| CT - Hybride - Voiture Société | 27 (45,76 %) |
| Autre | 3 (5,08 %) |
| n/a | 9 (15,25 %) |

Participants 59
Total 153

Fig. 40 - Intentions d'investissement

7 | Le rôle clé des autorités publiques

Enfin, comme déjà évoqué, les répondants à l'enquête relèvent l'importance de l'action des autorités publiques dans le déploiement des motorisations alternatives. Les autorités disposent en effet de leviers qui, activés avec soin et en concertation avec les acteurs du secteur, pourraient avoir un impact très important. Nous relèverons ici les conclusions principales :

- la nécessité impérieuse de développer une vision à long terme avec une cohérence entre les décisions prises au niveau européen, fédéral et régional, notamment en matière de fiscalité,
- la mise en place d'une fiscalité spécifique qui soutient un verdissement des flottes,
- l'octroi d'incitants financiers permettant aux acteurs de compenser les surcoûts,
- le financement de projets de recherche sur les motorisations alternatives,
- l'ajout de clauses spécifiques dans les marchés publics,
- la mise en place de dispositions permettant de faire porter le surcoût à l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur et pas uniquement aux transporteurs et logisticiens,
- les investissements dans les infrastructures d'approvisionnement,
- le souhait d'une évolution dans la culture des pouvoirs publics pour aller vers plus d'agilité et de flexibilité,
- un renforcement de l'attractivité du secteur du transport et de la logistique comme créateur d'emplois.

Le point de vue du secteur

Pourquoi investissez-vous déjà dans les « nouvelles technologies » ?

« Tout d'abord pour l'importance de réduire l'empreinte carbone de notre secteur.

Ensuite, il y a l'avantage compétitif. Nos clients sont de plus en plus demandeurs de services durables. Il est donc important que nous répondions à cette demande en proposant de tels services.

Enfin, il ne faut pas attendre les restrictions ou les interdictions de circulation pour commencer à réfléchir aux alternatives. C'est maintenant qu'il faut tester pour développer nos connaissances et obtenir un retour à long terme. A ce stade, nous ne disposons pas encore des connaissances ni du recul suffisants pour juger de la fiabilité, du coût réel et de l'empreinte carbone des nouvelles technologies. En acquérant ces connaissances, nous pourrions éviter de choisir trop rapidement une technologie qui n'est peut-être pas la meilleure solution. »



Pierre Van Mieghem
Van Mieghem Logistics

« Vu le poids conséquent des investissements, nous ne pourrions temporairement pas retirer d'avantage économique des efforts investis dans les carburants alternatifs. De plus, les nouvelles technologies doivent faire leurs maladies de jeunesse, et tant nos collaborateurs que nos clients y sont confrontés.

En tant qu'entreprise de transport, il est évident que notre objectif est de survivre économiquement, mais nous avons également une responsabilité à l'égard de la société. Notre motivation principale est de contribuer à la réduction des émissions de CO2 et d'être un exemple stimulant à suivre. »

Benny Smets
Ninatrans



Attendez-vous davantage de soutien de la part du marché pour récompenser vos efforts à l'égard de la durabilité ?

« Tout expéditeur n'est pas disposé à payer davantage pour un transport durable. Durant la pandémie, cette volonté a même diminué.

Pour moi, le plus important c'est que l'on élargisse le champ. Le transport routier est l'une des composantes d'une supply chain globale. En d'autres termes, ce n'est que l'un des aspects qui permettent d'évoluer vers une économie plus durable. Si l'on conçoit l'ensemble de la chaîne comme un tout, les véhicules plus écologiques et plus coûteux ainsi que des modes alternatifs sont tout à fait envisageables. »



Filip De Clercq
Gilbert De Clercq



III. Perspectives

1 | À court terme : jusqu'à 2026

Solutions immédiatement implémentables au regard du coût total de possession (Total Cost of Ownership - TCO) et du business case : CNG / LNG ou HVO

Problème avec ces technologies : impact très limité sur le développement durable ou questionnable sur le plan éthique dans le cas du HVO

Choix des alternatives au cas par cas (couloirs, rayon d'action à couvrir, ...)

Soutien financier sous la forme d'un subside direct ou d'une réduction de charges pouvant favoriser la décision d'opter pour une technologie alternative, mais surtout considéré comme un plus. Il est préférable de se baser sur un TCO rentable sans ce type de soutien, notamment en raison de l'incertitude du cadre juridique (et du soutien financier)

Primo adoptants de technologies innovantes motivés par leur rôle de pionnier et un esprit d'entreprise éthique

Réduction des mesures de soutien aux initiatives plus traditionnelles effective (Flandre CNG / LNG) ou progressive dans le temps (2021 : Pays-Bas, 2022 : Wallonie, 2023 : Allemagne)

Forte impulsion pour le développement de réseaux de carburants alternatifs (hydrogène)

L'UE encourage la recherche sur les véhicules électriques à batterie (BEV) et à pile à combustible (FCEV). Les BEV sont préférés pour les transports plus légers et plus courts, les FCEV pour les transports plus lourds et plus longs. « Fuel for the Future » confirme ce choix.

Les différents constructeurs (OEM) ne se profilent pas tous de la même manière en ce qui concerne leurs choix technologiques pour le transport lourd sans émissions. Certains équipementiers soutiennent la ligne de l'UE, tandis que d'autres optent pour le BEV. Ils restent néanmoins tous en contact avec les deux types de technologies, soit par le biais du groupe auquel ils appartiennent, soit par leur participation à des consortia.

2 | À moyen terme : jusqu'à 2032

Expansion des réseaux de carburants alternatifs

Poursuite du développement de la technologie des batteries

Standardisation effective des systèmes de charge et de ravitaillement

Choix de la technologie en fonction du type de transport et de destination, mais aussi du modus operandi, du ravitaillement et de la maintenance - toujours au cas par cas

Le coût associé à l'émission de gaz à effet de serre devient de plus en plus élevé. Les premières mesures en ce sens sont déjà effectives en Allemagne et il ne semble plus impensable qu'une forme de taxe carbone soit instaurée au niveau européen. Fin avril 2021, la Commission européenne a confirmé son intention d'étendre le système de droits d'émission aux secteurs de la construction et des transports.

L'UE va-t-elle à nouveau stimuler les subsides en faveur du transport routier afin d'assurer une transition efficace vers des transports sans émissions ? Les nombreux sous-traitants et PME doivent également être inclus dans la boucle.

3 | À long terme : au-delà de 2032

Prix des combustibles fossiles traditionnels les excluant du marché

Quel sera le degré de maturité de la technologie électrique à batterie pour les longues distances ?

L'adoption à plus grande échelle des véhicules autonomes influencera-t-elle le niveau de motorisation électrique et le modus operandi ?

Quel sera sur le transport routier l'effet de levier de la transition vers l'hydrogène liquide à l'œuvre dans l'aviation ?

Impact CO2

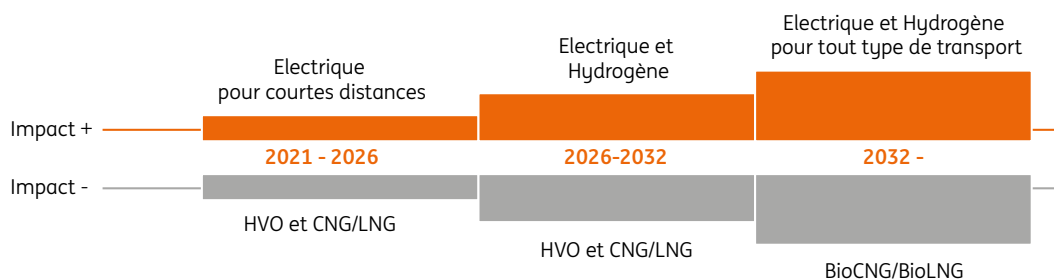


Fig. 41 - Chronologie des technologies alternatives

