

# Quelles filiales énergétiques pour les autocars?



---

# Sommaire

Edito .....	3
Introduction .....	4

## Technologie de référence

Le gazole et le moteur diesel .....	6
-------------------------------------	---

## Technologies de transition

Le GTL (gas-to-liquid) .....	10
Le HVO (huiles végétales hydrotraitées) .....	14

## Technologies de rupture

Le GNC (gaz naturel comprimé) .....	18
Le bioéthanol ED95 .....	26
L'électrique .....	30
L'hybride .....	36
Le GNL (gaz naturel liquéfié) .....	40
L'hydrogène et la pile à combustible .....	44

## Conclusions

Tableau comparatif des différentes filières énergétiques .....	48
Tableau de disponibilité des véhicules .....	50
Perspectives .....	51



---

# Édito

De multiples facteurs bouleversent durablement l'écosystème du transport routier de voyageurs. Les nouvelles attentes des voyageurs en matière de transport, les réformes réglementaires, la réforme territoriale, la digitalisation, l'évolution des technologies, des infrastructures sont autant d'éléments qui amènent à repenser la mobilité et ses usages.

Les enjeux environnementaux sont plus que jamais au cœur des préoccupations des acteurs du transport. L'Etat, les autorités organisatrices et les entreprises de transport routier de voyageurs par autocar s'accordent sur un constat commun : trouver des solutions volontaristes et pragmatiques pour relever le défi de la transition énergétique et écologique pour répondre aux enjeux environnementaux et de santé publique.

Plusieurs expérimentations récentes ou en cours attestent de la nécessité d'engager, dès à présent, la première étape de la transition et de la volonté des collectivités territoriales et des transporteurs de trouver le meilleur équilibre possible pour l'ensemble des acteurs de la filière.

Dans ce contexte, il était devenu indispensable de disposer d'un état des lieux qui fasse référence sur les technologies et les filières énergétiques existantes et en devenir pour le transport par autocar. Avec ce document, nous souhaitons apporter aux entreprises et aux autorités organisatrices de transports de nouveaux éléments qui leur permettront de définir une stratégie environnementale ambitieuse et réaliste.



**Bruno LECHEVIN**  
Président de l'ADEME



**Michel SEYT**  
Président de la FNTV



**Philippe RICHERT**  
Président de Régions  
de France

# Introduction

## Contexte

Le respect de l'environnement est une priorité pour les entreprises de transport routier de voyageurs depuis de nombreuses années. La Fédération Nationale des Transports de Voyageurs (FNTV) tient à rappeler les efforts continus de la profession en matière de transition énergétique. Le fort taux de renouvellement des véhicules et leur faible moyenne d'âge, la création d'une Charte d'engagement volontaire : « Objectif CO<sub>2</sub>, les transporteurs s'engagent », les formations à l'écoconduite, les progrès réalisés dans le recyclage des eaux, huiles, batteries et autres matériaux attestent de la prise de conscience des entreprises.

La mise en place au niveau européen de normes Euro, notamment pour les autocars, a constitué une avancée majeure pour réduire les émissions polluantes (Cf graphique ci-dessous).

Malgré ce mouvement, la société doit répondre au défi de la réduction de l'empreinte carbone. C'est pourquoi, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 impose qu'à compter de 2020, la moitié des renouvellements du parc des services conventionnés interurbains devra se faire au moyen de véhicules à faibles émissions. Après 2025, tous les véhicules achetés pour l'exécution de ces services seront concernés. Par ailleurs, de nombreuses collectivités affichent une politique volontariste en intégrant des clauses environnementales dans les appels d'offres ou même, comme la Mairie de Paris, en adoptant une feuille de route prévoyant l'interdiction des motorisations diesel dès 2020.

La profession s'engage donc pleinement et rappelle que les véhicules diesel Euro VI ont été classés réglementairement par l'Etat dans la catégorie des véhicules à faibles émissions<sup>1</sup>. Pour la pérennité des activités de transport routier de voyageurs, il est nécessaire qu'ils puissent continuer à circuler tant que toutes les conditions de leur remplacement ne sont pas réunies.

En complément, il est nécessaire de rappeler que l'autocar est tributaire de la filière industrielle du poids lourd. Compte tenu des volumes et des stratégies des constructeurs, les logiques industrielles conduisent à développer prioritairement les moteurs et les technologies pour les camions puis pour les autobus. L'autocar ne bénéficie qu'a posteriori des avancées technologiques du secteur. Ce constat explique le décalage technologique existant entre le transport routier de marchandises (camions), le transport urbain (autobus) et le transport interurbain (autocar).

## Objectifs du document

En 2007, la FNTV et l'ADEME avaient conjointement réalisé un document intitulé « Fiches Conseil-Environnement-Energies : Quelles filières industrielles pour les autocars ? ».

Le document présent : « Quelles filières énergétiques pour les autocars ? » a pour ambition d'actualiser les travaux de 2007. **Toutes les informations contenues dans ce document font état des connaissances au 1<sup>er</sup> septembre 2017.**

## Il poursuit deux objectifs :

1. Partager un état des lieux des filières énergétiques et des véhicules disponibles en fonction du type d'activité ;
2. Offrir un outil de dialogue et d'analyse aux autorités organisatrices de transports et aux entreprises ;

Tout en classant les technologies de la plus mature à la plus expérimentale, une clé de lecture supplémentaire a été ajoutée : la technologie est-elle une technologie de transition ou de rupture ?

Les technologies de transition ne nécessitent pas de changer les autocars fonctionnant au diesel contrairement aux technologies de rupture qui nécessitent l'achat d'un autocar dédié, ce qui constitue une différence majeure en termes d'investissement.

Graphique des réductions d'émissions polluantes à partir de la mise en place des normes Euro

	EURO 0	EURO I	EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO VI
<b>NOx</b> Oxydes d'azote	-38%	-51%	-65%	-76%	-86%	-97%*	
<b>HC</b> Hydrocarbures	-49%	-54%	-73%	-81%	-81%	-95%*	
<b>CO</b> Monoxyde de carbone	-56%	-64%	-81%	-87%	-87%	-87%*	
<b>Particules</b>	-	-58%	-64%	-94%	-94%	-97%*	
	1990	1993	1996	2001	2006	2009	2013

\* Ce chiffre indique la diminution entre l'EURO 0 et l'EURO VI

<sup>1</sup>Décret n° 2017-23 du 11 janvier 2017 pris pour l'application de l'article L. 224-8 du code de l'environnement définissant les critères caractérisant les autobus et autocars à faibles émissions

## Définitions des notions utilisées

### Catégories de carburants

Il existe schématiquement trois grandes catégories de carburant :

- **Les carburants fossiles ou traditionnels** : Ils proviennent des hydrocarbures : pétrole (gazole), gaz issu du sous-sol (GNV). Ces carburants ne sont pas renouvelables. Le gazole étant le carburant utilisé par la quasi-totalité des véhicules de transport routier de voyageurs, le moteur diesel de norme Euro VI sera la technologie de référence de ce document.
- **Les biocarburants** : Ce sont des carburants d'origine renouvelable, liquides ou gazeux, créés à partir de la transformation de matériaux organiques non fossiles issus de la biomasse ; c'est-à-dire des matières végétales produites par des cultures agricoles (betterave, blé, maïs, colza, tournesol, etc.) ou par des déchets (co-produits de l'industrie agro-alimentaires, reliefs de repas, eaux usées...). Ces biocarburants sont dits de 1<sup>ère</sup> génération lorsqu'ils sont issus de matières pouvant être utilisées pour l'alimentation, ou de 2<sup>ème</sup> génération lorsqu'ils proviennent de biomasse qui n'est pas utilisée comme alimentation humaine. Dans ce document, nous aborderons uniquement les solutions matures à ce jour : bioéthanol, biodiesel (huiles végétales, graisses estérifiées ou graisses hydrotraitées) et biogaz.
- **Les carburants paraffiniques de synthèse** : Ce sont des carburants liquides fabriqués à partir de matière première d'origine fossile (gaz naturel (GTL) charbon (CTL), ou de biomasse (BTL). Ce sont des hydrocarbures saturés ne contenant ni oxygène, ni soufre ou autres composants et pouvant se substituer directement au gazole.

### Pollution

Il existe deux types de pollution :

- **La pollution locale** : Il s'agit principalement des émissions de particules (PM) et d'oxydes d'azote (NOx) ayant un impact localisé sur la qualité de l'air dans les zones de circulation du véhicule.
- **La pollution globale** : Il s'agit des émissions de gaz à effet de serre (GES), dont le CO<sub>2</sub> fait partie, ayant une incidence sur le réchauffement climatique global de la planète.

### Normes Euro des véhicules

Les véhicules diesel, comme l'ensemble des autres véhicules routiers (toutes carburations confondues), sont soumis aux normes européennes d'homologation dites normes Euro. Ces normes fixent les limites maximales de rejets de polluants pour les véhicules roulants dans une séquence d'essai sur banc moteur, représentative de l'opération du moteur. Ainsi, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014, la norme Euro VI est obligatoire pour les véhicules lourds (> 3,5 tonnes) neufs.

Les normes Euro concernent la pollution locale. Les critères les plus restrictifs de la norme Euro VI s'appliquent aux émissions d'oxydes d'azote et de particules. On s'intéressera également dans ce document aux gaz à effet de serre même s'ils ne sont pas réglementés par la norme Euro.

Normes	Textes de référence (directives)	Date de mise en application (tous types)	NOx (g/kWh)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Particules (g/kWh)
Euro 0	88/77	01-10-1990	14,4	11,2	2,47	-
Euro I	91/542 (A)	01-10-1993	9	4,9	1,23	0,36
Euro II	91/542 5B*	01-10-1996	7	4	1,1	0,15
Euro III	1999/96	01-10-2001	5	2,1	0,66	0,13
Euro IV	1999/96	01-10-2006	3,5	1,5	0,46	0,02
Euro V	1999/96	01-10-2009	2	1,5	0,46	0,02
Euro VI	Règlement (CE) n° 595/2009	31-12-2013	0,4	1,5	0,13	0,01

On considérera que tous les moteurs diesel sont au seuil maximal d'émissions de la norme Euro VI.

### Typologie des activités

Schématiquement, les activités de transport routier de voyageurs par autocar se décomposent en quatre grandes familles : les transports scolaires, les lignes régulières locales, les activités touristiques et les services librement organisés (« cars Macron »).

En dehors des agglomérations où s'exercent les compétences des autorités organisatrices de la mobilité, les transports scolaires et les lignes régulières locales sont organisées sous la compétence de la Région. La loi NOTRe portant sur la nouvelle organisation territoriale de la République a en effet redéfini les compétences attribuées à chaque collectivité territoriale : les compétences en matière de transport - autocars interurbains et scolaires - exercées jusqu'alors par les Départements ont respectivement été transférées aux Régions les 1<sup>er</sup> janvier 2017 et 1<sup>er</sup> septembre 2017.

Technologie de référence

# Le gazole et le moteur diesel



## Présentation / Caractéristiques

Le principe de fonctionnement d'un moteur diesel repose sur l'auto-inflammation du carburant injecté dans les cylindres grâce à la température et à la pression élevées de l'air en fin de compression (aux alentours de 600°C) ce qui l'affranchit du besoin d'un système d'allumage (bougies etc...).

Le rendement d'un moteur diesel est plus élevé que celui d'un moteur essence (d'où une plus faible consommation et un niveau plus faible de CO<sub>2</sub>). Cette technologie s'est imposée pour le transport routier, notamment pour le transport de voyageurs par autocar.

## Impacts environnementaux

Les réglementations européennes ont conduit les motoristes à mettre en œuvre des solutions pour réduire la nocivité des gaz d'échappement à partir de 1990 (normes Euro). Par ailleurs, les pétroliers ont été contraints d'adapter les caractéristiques du gazole telle que la teneur en soufre des carburants pour permettre la mise en œuvre de ces solutions.

Données exprimées en g/kWh	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
GAZOLE (diesel Euro VI)	0,4	0,01	Non réglementés par les normes Euro

Source : Ministère de la Transition écologique et solidaire

### Pollution locale

La mise en place de normes anti-pollution (normes Euro) a favorisé le progrès des moteurs diesel afin d'éliminer la quasi-totalité des émissions polluantes locales.

Concernant les parcs antérieurs à la norme Euro VI, il existe des solutions alternatives au remplacement des véhicules<sup>2</sup>. L'installation de systèmes DeNox et de filtres à particules (FAP) permet de réduire efficacement les émissions d'oxydes d'azote (NOx) et de particules (PM).

**Systèmes DeNox :** Ces systèmes ont pour objectif de réduire les émissions d'oxydes d'azote (NOx). Les valeurs de NOx mesurées correspondent à la somme des rejets de monoxydes d'azote (NO) et de dioxydes d'azote (NO<sub>2</sub>).

**Les FAP (Filtres à particules) :** Ils ont pour objet de filtrer les gaz d'échappement des moteurs diesel en réduisant les émissions de certains composés, dont les particules solides. Différents filtres à particules sont disponibles pour équiper des véhicules en seconde monte ; tous les véhicules récents en sont équipés de série.

### Pollution globale

La production, le transport et la combustion du gazole génèrent l'émission de gaz à effet de serre (GES). Les performances des motorisations les plus récentes (Euro VI) permettent une diminution de la consommation de carburant ce qui engendre une baisse corrélative des émissions de gaz à effet de serre (GES).

<sup>2</sup> Arrêté du 15 mai 2013 visant les conditions d'installation et de réception des dispositifs de post-équipement permettant de réduire les émissions de polluants des véhicules en service

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

Le gazole répond aux spécifications de la norme européenne EN590. Cette norme prescrit les exigences et les méthodes d'essai pour le carburant pour moteurs diesel (gazole) mis sur le marché et livré. Elle autorise l'incorporation de biocarburant de type EMAG (esters méthyliques d'acides gras) à hauteur de 7% lorsque celui-ci répond à une norme de qualité (EN14914).

### Fiscalité

Le gazole est soumis à la Taxe Intérieure sur la Consommation des Produits Energétiques (TICPE) dont le montant est fixé à la nomenclature de l'article 265 du code des douanes sous l'indice 22. Le taux de la TICPE est révisé annuellement par la loi de finances. Pour 2017, il est de 53,07 €/ hectolitre.

Les professionnels du transport routier de voyageurs peuvent demander le remboursement d'une fraction de la TICPE payée sur leurs consommations réelles de gazole<sup>3</sup>, sur la base de taux, mis à jour semestriellement et pouvant varier selon la région d'approvisionnement. La loi de transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 a prévu une tarification carbone (composante de la TICPE) avec une trajectoire croissante : 56 €/tonne de carbone en 2020 et 100 € en 2030. Depuis 2016, le Gouvernement a engagé le rapprochement de la fiscalité du gazole et de l'essence, qui se traduira par une augmentation de la TICPE sur ce carburant dans les années à venir.



## Coûts

Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
De 140 000 € à 350 000 €	Investissement sur site dédié : ~ 60 à 70 000 € pour une station gazole de 50 m <sup>3</sup> + additif nécessaire à la réduction des oxydes d'azote (AdBlue®)	Varie selon le type d'activité et la localisation géographique	De l'ordre de 0,15 €/km à 0,25 €/km (en fonction de l'âge du véhicule)

Le coût du gazole demeure à ce jour très compétitif par rapport aux autres filières énergétiques existantes. Le prix d'achat des véhicules diesel est très inférieur à celui des véhicules utilisant d'autres solutions énergétiques. Les équipements de dépollution induisent un surcoût à l'achat, et parfois de la consommation et de la maintenance.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

La quasi-totalité des constructeurs commercialise des autocars diesel.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

Le réseau d'avitaillement est très développé sur l'ensemble du territoire français. A ce jour, il existe un peu plus de 11 000 stations publiques selon les dernières estimations de l'UFIP (Union Française des Industries Pétrolières).

### Infrastructures dédiées

De nombreuses entreprises de transport routier de voyageurs disposent de stations de distribution privées dont l'approvisionnement est relativement simple.

### Exploitation

L'autonomie très importante (environ 1200 km) des véhicules diesel leur permet d'être adaptés à toutes les activités du transport routier de voyageurs : transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés.

### Maintenance

L'existence d'une filière intégrée (réseau de concessionnaires pour le service après-vente, fournisseurs de pièces détachées, personnels formés), variée (concurrence importante) et présente sur l'ensemble du territoire permet de garantir la performance de la maintenance en termes de coûts, de qualité et de délais.

<sup>3</sup> Articles 265 septies et 265 octies du Code des douanes, taux de remboursement forfaitaire pondéré : 15,42 €/hl (1<sup>er</sup> semestre 2017)



# Synthèse

Le gazole et le moteur diesel

*Actuellement, le gazole demeure la seule filière énergétique pour laquelle la gamme complète des véhicules est entièrement disponible. C'est la plus performante en termes de coûts. Elle est adaptée à toutes les activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés). Néanmoins, dans un contexte de décarbonation, il est nécessaire d'étudier les solutions alternatives à l'énergie fossile.*

## + Avantages +



### Techniques

- Maturité de la technologie et robustesse des moteurs ;
- Rendement efficace des moteurs diesel ;
- Disponibilité des véhicules ;
- Réseau d'avitaillement très développé ;
- Infrastructures simples d'approvisionnement ;
- Stockage du carburant très facile.



### Environnementaux

- Réduction progressive des émissions polluantes avec la mise en place de normes anti-pollution ;
- Utilisation de systèmes DeNox permettant la réduction des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
- Utilisation de filtres à particules (FAP) permettant d'éliminer la quasi-totalité des émissions de particules.



### Economiques

- Coût du carburant compétitif ;
- Coût des véhicules moins élevé que pour les autres technologies ;
- Existence d'un marché de l'occasion.

## - Inconvénients -



### Environnementaux

- Carburant fossile contribuant à la production de CO<sub>2</sub>, d'oxydes d'azote (NOx) et de particules (PM) ;
- Anciens véhicules non équipés des technologies récentes permettant de réduire les émissions polluantes.



### Economiques

- Equipements de dépollution induisant un surcoût à l'achat, parfois en consommation et en maintenance.

---

Technologie de transition

---

# Le GTL (gas-to-liquid)

---



## Présentation / Caractéristiques

Le GTL (gas-to-liquid) est un carburant paraffinique de synthèse fabriqué à partir de gaz naturel selon un procédé mis au point en 1925 par deux chercheurs allemands : Fischer et Tropsch. Ce procédé nécessite deux étapes :

- Transformation de la source d'énergie en gaz de synthèse composé d'un mélange très précis de monoxyde de carbone et d'hydrogène ;
- Transformation chimique de ce gaz de synthèse (procédé «Fischer Tropsch») en paraffines lourdes qui sont ensuite craquées et hydrogénées pour former des hydrocarbures liquides (tel que le gazole).

Largement utilisé durant la seconde guerre mondiale puis plus tard en Afrique du Sud (à partir du charbon) pour compenser le manque d'accès aux marchés d'hydrocarbures classiques, l'utilisation du GTL a été abandonnée par la suite car non concurrentielle avec les produits pétroliers. Depuis 2010, quelques compagnies pétrolières produisent et commercialisent du GTL.



## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
GTL (écart vs diesel Euro VI)	Réduction des émissions locales pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI Aucune réduction statistiquement significative observée pour l'Euro VI		~ identique au gazole

Source : Guide de connaissances - Le carburant GTL Shell, version 2.0.

### Pollution locale

Concernant l'Euro VI, aucune réduction importante n'est observée. Pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI, le GTL permet de réduire significativement les émissions locales (Pour l'Euro V : NOx de -5 à -37% ; PM de -23 à -33% selon les moteurs).

### Pollution globale

L'empreinte CO<sub>2</sub> du puits à la roue est identique à celle du gazole utilisé en Europe<sup>4</sup>. Selon Shell, on constate une diminution d'environ 5% du réservoir à la roue.

### Autres impacts

L'utilisation de ce carburant permet de réduire la pollution sonore (bénéfices limités : 1 à 4 décibels) et les fumées pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI grâce à une meilleure combustion liée à un indice de cétane élevé (les véhicules Euro VI ne produisant que très peu de fumée). Selon Shell, ce carburant n'est pas nocif en cas d'inhalation et moins irritant. Il est biodégradable et non cancérigène.

<sup>4</sup>WELL-TO-TANK Version 4.a. JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS, Commission Européenne, 2014

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

Le GTL est un carburant de synthèse répondant aux spécifications de la norme EN15940. Cette norme, qui décrit les carburants paraffiniques de type gazole, a été approuvée au niveau européen en avril 2016.

La norme EN15940 est proche de la norme EN590. Les deux principales différences sont la densité et l'indice de cétane. En effet, les carburants paraffiniques ont une densité légèrement plus faible que les gazoles standards.

L'utilisation du GTL est autorisée en France depuis février 2017<sup>5</sup> exclusivement pour les flottes professionnelles de véhicules disposant d'une logistique d'approvisionnement spécifique.

### Fiscalité

Le GTL est soumis à la TICPE au même indice que le gazole (Indice 22 ; taux de 53,07€/ hectolitre).

Les entreprises de transport routier de voyageurs devraient pouvoir récupérer une fraction de la TICPE dans les mêmes conditions que pour le gazole.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

En théorie, tous les véhicules peuvent fonctionner au GTL pur ou en mélange, sans aucune modification. Il est cependant nécessaire de s'assurer auprès du constructeur qu'il accepte l'usage de ce carburant dans ses motorisations. Le carburant GTL est immédiatement utilisable dans les moteurs diesel actuels, ce qui permet de réduire les polluants (pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI) sans avoir à changer la technologie du moteur.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

La distribution du carburant GTL demeure très limitée en France pour l'instant ; d'autant que ce carburant n'est pas disponible en stations publiques.

A ce jour, un seul énergéticien commercialise ce carburant en Europe. Les livraisons s'effectuent à partir de Rotterdam et Strasbourg, il est donc nécessaire de s'assurer des possibilités d'approvisionnement et des conditions économiques.

### Infrastructures dédiées

L'utilisation du GTL ne nécessite pas d'investissements ni d'infrastructures spécifiques. Cependant l'utilisation d'une cuve dédiée est préconisée afin de conserver les gains inhérents au carburant. La stabilité de ce carburant à l'oxydation permet un stockage prolongé.

### Exploitation

La consommation d'un véhicule roulant au GTL est équivalente à celle d'un véhicule roulant au diesel. Ce carburant permet d'améliorer à froid la puissance du moteur. Les pleins de carburant ne peuvent être réalisés qu'au dépôt ; cela peut engendrer des kilomètres de haut-le-pied (HLP)<sup>6</sup> supplémentaires selon la zone de circulation du véhicule.

Le GTL est adapté à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés) dès lors que la distance parcourue permet de faire le plein au dépôt.

### Maintenance

L'utilisation du GTL ne nécessite, en théorie, pas de plan de maintenance spécifique. Selon Shell, le GTL diminuant les émissions de particules et d'imbrulés du moteur, il contribuerait à maintenir les organes du moteur plus propres (Filtres à particules, filtres à gazole, injecteurs...). Il est préférable de s'assurer de la position du constructeur au préalable.

## Coûts

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document			
Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Identique	Identique	Supérieur : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût du carburant supérieur au gazole</li> <li>• HLP supplémentaires</li> </ul>	En théorie, identique*

\*moteurs plus propres et pas de maintenance allongée suivant l'utilisation (Shell).

Le prix du carburant GTL devrait être légèrement plus élevé que celui du gazole en raison de la logistique d'acheminement.

<sup>5</sup> Arrêté du 28 février 2017 modifiant l'arrêté du 19 janvier 2016 relatif à la liste des carburants autorisés au regard des dispositions de l'article 265 ter du code des douanes

<sup>6</sup> Le haut-le-pied (HLP) est une expression utilisée en transport routier pour désigner tout déplacement non commercial d'un véhicule. Dans le transport routier de voyageurs, le haut-le-pied est le déplacement d'un autocar ne transportant aucun passager.

# Synthèse

Le GTL (gas-to-liquid)

*Le GTL permet d'apporter une réponse immédiate aux problématiques de qualité de l'air pour les véhicules antérieurs à la norme Euro VI, en se substituant au gazole pour réduire les émissions de polluants locaux. Ce carburant est adapté à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés) dès lors que la distance parcourue permet de faire le plein au dépôt. Néanmoins, ce carburant n'est, réglementairement, pas disponible en station publique.*

## + Avantages +



### Techniques

- Ne nécessite aucune modification des véhicules ;
- Totalemement substituable (et miscible) au gazole ;
- Amélioration à froid de la puissance du moteur ;
- Ne nécessite, a priori, pas de plan de maintenance spécifique ;
- Ne nécessite pas d'investissement, ni d'infrastructure spécifique ;
- Possibilité de stockage prolongé.



### Environnementaux

- Non-toxique, non-cancérogène et biodégradable (selon Shell) ;
  - Légère réduction des nuisances sonores et visuelles.
- Pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI :**
- Réduction des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
  - Réduction des émissions de particules (PM) ;
  - Permet une réduction conséquente de la pollution locale d'une flotte de véhicules anciens.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Distribution encore très limitée en France ;
- Carburant non disponible en station publique.



### Economiques

- Léger surcoût du carburant ;
- Coûts de haut-le-pied supplémentaires.

---

Technologie de transition

---

# **Le HVO** **(huiles végétales** **hydrotraitées)**

---



## Présentation / Caractéristiques

Le HVO (Hydrotreated Vegetable Oils) est un biocarburant au sens de la directive européenne 2003-30.

Il est obtenu par un procédé chimique d'hydrogénation<sup>7</sup> d'huiles végétales de plantes (colza, soja, palme, jatropha) ou de déchets de graisses animales. Les caractéristiques de l'hydrocarbure obtenu sont très proches des carburants de synthèse paraffiniques et quasiment identiques à celles du gazole.

Cette technique de fabrication utilise les mêmes matières premières que pour la fabrication des biodiesels de type EMAG (esters méthyliques d'acides gras). Elle permet d'obtenir un produit d'une meilleure qualité, se conservant mieux et utilisable sur une plage de température comparable à celle du gazole, voire à des températures plus basses.

Les huiles végétales hydrotraitées sont incorporables dans le gazole ou peuvent être utilisées pures en remplacement de celui-ci.

*Le carburant HVO est  
immédiatement  
**utilisable**  
dans les moteurs diesel actuels*

## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
HVO (écart vs diesel Euro VI)	Réduction des émissions locales pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI  Aucune réduction statistiquement significative observée pour l'Euro VI		~ - 50% (du puits au réservoir)

Source : Neste Renewable Diesel Handbook - Mai 2016

### Pollution locale

Concernant l'Euro VI, peu de données sont disponibles. Pour les véhicules antérieurs à la norme Euro VI, l'utilisation du HVO permet de réduire les émissions locales en offrant sensiblement les mêmes bénéfices environnementaux que le GTL.

### Pollution globale

Le HVO présente un intérêt supplémentaire grâce à une réduction de l'ordre de 50% des gaz à effet de serre car les émissions de CO<sub>2</sub> sont absorbées par photosynthèse lors de la croissance de la plante.

### Autres impacts

La production de HVO peut impacter l'économie de la filière agricole par la consommation de matières premières agricoles et la production de co-produits utilisables pour l'alimentation du bétail.

<sup>7</sup> Incorporation d'hydrogène et extraction d'oxygène.

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

Le HVO est un carburant répondant aux spécifications de la norme EN15940. Cette norme, qui décrit les carburants paraffiniques de type gazole, a été approuvée au niveau européen en avril 2016.

L'utilisation du HVO est autorisée depuis février 2017<sup>8</sup> exclusivement pour les flottes professionnelles de véhicules disposant d'une logistique d'approvisionnement spécifique.

### Fiscalité

Le HVO est soumis à la TICPE au même indice que le gazole (Indice 22 ; taux de 53,07 €/ hectolitre).

Les entreprises de transport routier de voyageurs devraient pouvoir récupérer une fraction de la TICPE dans les mêmes conditions que pour le gazole.

## Maturité de la technologie

Le HVO est utilisé depuis une dizaine d'années dans les pays du Nord de l'Europe, ce qui permet un certain recul sur les avantages et inconvénients de ce carburant.

### Disponibilité des véhicules

En théorie, tous les véhicules diesel peuvent fonctionner au HVO. Il est cependant nécessaire de s'assurer auprès du constructeur qu'il accepte l'usage de ce carburant dans ses motorisations.

Le carburant HVO est immédiatement utilisable dans les moteurs diesel actuels, ce qui permet de réduire les polluants (pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI) sans avoir à changer la technologie du moteur. Il peut être utilisé pur ou mélangé au gazole.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

En France, le HVO n'est pas encore disponible à la distribution. A ce jour, un énergéticien envisage la construction d'une unité de production à La Mède (Bouches-du-Rhône) dont l'ouverture est prévue pour 2018. Ce carburant ne sera disponible qu'en station privée.

### Infrastructures dédiées

Le HVO ne nécessite pas d'investissement ni d'infrastructures spécifiques. L'utilisation d'une cuve dédiée est préconisée afin de conserver les gains inhérents au carburant.

### Exploitation

L'utilisation du HVO offre une autonomie similaire au gazole sachant que les pleins de carburant ne peuvent être réalisés qu'au dépôt ce qui peut engendrer des kilomètres de haut-le-pied (HLP) supplémentaires selon la zone de circulation du véhicule.

Cette technologie est adaptée à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés) dès lors que la distance parcourue permet de faire le plein au dépôt.

### Maintenance

La mise en œuvre de ce carburant utilisé à l'état pur, peut nécessiter une recalibration du système d'injection de carburant des moteurs et quelques modifications des cuves de stockage du carburant.

## Coûts

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document			
Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Identique	Identique	Supérieur : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût du carburant supérieur au gazole</li> <li>• HLP supplémentaires</li> </ul>	En théorie, identique

Le prix du HVO devrait être plus élevé que celui du gazole en raison du coût de production plus élevé et du coût de la matière première<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Arrêté du 28 février 2017 modifiant l'arrêté du 19 janvier 2016 relatif à la liste des carburants autorisés au regard des dispositions de l'article 265 ter du code des douanes

<sup>9</sup> Source : Renault Trucks



# Synthèse

Le HVO (huiles végétales hydrotraitées)

*Le HVO permet d'apporter une réponse immédiate aux problématiques de qualité de l'air pour les véhicules antérieurs à la norme Euro VI, en se substituant au gazole pour réduire les émissions de polluants. Cette technologie est adaptée à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés) dès lors que la distance parcourue permet de faire le plein au dépôt.*

*Néanmoins, à ce jour ce carburant n'est pas encore distribué en France et ne sera pas disponible en station publique.*

## + Avantages +



### Techniques

- Ne nécessite aucune modification des véhicules ;
- Totalement substituable (et miscible) au gazole ;
- Autonomie similaire au gazole ;
- Ne nécessite pas d'investissement ni d'infrastructure spécifique.



### Environnementaux

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 50% ;
  - Légère réduction des nuisances sonores et visuelles.
- Pour les véhicules antérieurs à l'Euro VI :**
- Réduction des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
  - Réduction des émissions de particules (PM) ;
  - Permet une réduction conséquente de la pollution locale d'une flotte de véhicules anciens.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Carburant non disponible actuellement à la distribution en France ;
- Carburant non autorisé en station publique.



### Economiques

- Coût du carburant supérieur au gazole ;
- Coûts de haut-le-pied supplémentaires.

---

Technologie de rupture

---

# Le GNC (gaz naturel comprimé)

---



## Présentation / Caractéristiques

Le GNC (Gaz Naturel Comprimé) fait partie de la famille des GNV (Gaz Naturel pour Véhicules). Utilisé sous forme gazeuse comprimée à 200 bars, il est composé d'au moins 85% de méthane et possède la particularité d'être deux fois plus léger que l'air.

Naturellement présent dans certaines roches poreuses (origine fossile), le GNV peut également être obtenu à partir de la fermentation de matières organiques telles que les déchets agricoles, industriels ou ménagers ou encore les boues de stations d'épuration. Le biogaz fabriqué à partir de ces déchets nécessite un traitement visant à éliminer les impuretés et gaz indésirables. Une fois purifié, ce gaz est injecté dans les réseaux de gaz naturel. On parle alors de biométhane et de bioGNV lorsque ce dernier est utilisé comme carburant. Il est renouvelable contrairement à celui d'origine fossile et sa production participe à l'économie de la filière agricole via notamment l'utilisation du digestat qui se substitue à l'utilisation d'engrais chimiques.

Le pouvoir calorifique d'1 m<sup>3</sup> de gaz<sup>10</sup> à pression atmosphérique et à température ambiante est sensiblement équivalent à celui d'un litre de gazole. Ceci impose un stockage sur le véhicule sous haute pression (200 bars) afin d'avoir une autonomie suffisante.

L'utilisation de ce carburant remonte au milieu des années 1990 où il a été largement déployé pour les autobus, les bennes à ordures ménagères et quelques véhicules légers circulant principalement en zone urbaine.

Ce carburant impose un véhicule dédié, doté d'un moteur à allumage commandé (équipé de bougies comme un moteur essence), d'un système de stockage spécifique composé de plusieurs réservoirs d'une contenance totale de 1200 litres positionnés généralement en

toiture et d'un système d'alimentation du moteur approprié (système de détente du gaz et d'une injection).

Le GNC d'origine fossile et le bioGNC ne seront pas dissociés dans ce document, sauf sur le plan des impacts environnementaux où des différences existent.

## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
GNC (écart vs diesel Euro VI)	- 53%	- 96%	~ + 10%
bioGNC (écart vs diesel Euro VI)	- 53%	- 96%	~ - 80%

Source : données IVECO.

NB : L'ADEME disposera de données début 2018

### Pollution locale

L'utilisation de GNC ou de bioGNC permet de réduire les émissions locales.

### Pollution globale

Le bilan carbone est impacté par le rendement du moteur GNC inférieur d'environ 10% à celui du moteur diesel. Cependant, selon l'analyse du cycle de vie (ACV<sup>11</sup>), l'incorporation de bioGNC dans le GNC permet de diminuer les émissions globales de gaz à effet de serre (du puits à la roue) voire, selon le taux d'incorporation, de les rendre inférieurs à ceux généralement constatés pour le diesel.

### Autres impacts

La diminution des nuisances sonores perçues est de l'ordre de 50% par rapport au diesel.

<sup>10</sup> L'unité de mesure du gaz est en Normo m<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup> = 1 m<sup>3</sup>)

<sup>11</sup> L'analyse du cycle de vie recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associées aux activités humaines. Elle évalue les impacts potentiels puis interprète les résultats obtenus en fonction de ses objectifs initiaux.

## Cadre réglementaire et fiscal

Le cadre réglementaire applicable au GNC (Gaz Naturel Comprimé) est le même que celui du GNV (Gaz Naturel pour Véhicule).

### Réglementation

L'exploitation de véhicules GNV est soumise à une réglementation stricte et complexe afin d'apporter toutes les garanties de sécurité.

### Véhicules :

Concernant les véhicules, les pièces de rechange doivent être conformes au règlement européen R110 annexé à l'accord de Genève du 20 mars 1958 révisé GNC. Il décrit les prescriptions relatives à l'homologation des composants de véhicules fonctionnant au GNV.

Les visites réglementaires sont identiques à celles d'un véhicule diesel auxquelles s'ajoute une inspection tous les 4 ans des réservoirs et des dispositifs d'alimentation du moteur<sup>12</sup>.

### Installations :

Le GNC, relève de la rubrique 1413 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Il existe deux systèmes distincts d'autorisation d'ouverture de site selon le débit ou la capacité des installations (déclaration ou autorisation préfectorale)<sup>13</sup>.

Les distances de sécurité entre les équipements de la station, entre les équipements et un bâtiment recevant du public, ou les limites de bruit par rapport aux zones d'habitation sont normalisées.

Une visite annuelle est obligatoire pour les installations de compression et pour les ateliers où les installations de détection de gaz et des dispositifs de sécurité sont vérifiés. Il est nécessaire de respecter la réglementation, en créant des zones ATEX (Atmosphère Explosive).

### Circulation :

La circulation des véhicules GNV peut être réglementée par arrêté préfectoral dans certains lieux (tunnels, parkings souterrains...).

### Fiscalité

Le GNC est soumis depuis 2011 à la Taxe Intérieure sur la Consommation des Produits Energétiques (TICPE) dont le montant est fixé à la nomenclature de l'article 265 du code des douanes sous l'indice 36. Pour 2017, le taux est de 5,80 €/ 100 m<sup>3</sup>.

Le GNC bénéficie d'incitations fiscales, dont voici les principaux dispositifs :

- Exonération de la Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel (TICGN)<sup>14</sup> ;
- Suramortissement de 40% à l'achat de biens productifs<sup>15</sup> jusqu'au 31 décembre 2017.
- Cartes grises : les conseils régionaux peuvent, sur délibération, exonérer en totalité ou à concurrence de la moitié de la taxe proportionnelle sur les certificats d'immatriculation, les véhicules fonctionnant, exclusivement ou non, au GNV.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

S'il existe une offre abondante pour les autobus, il n'existe à ce jour qu'un seul constructeur qui commercialise des autocars GNC avec des soutes. Trois constructeurs proposent des véhicules sans soutes (un minicar et deux véhicules de type urbain réceptionnés en autocar)<sup>16</sup>.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

La disponibilité du gaz naturel pourrait être rapidement comparable à celle du diesel sur l'ensemble du territoire français en s'appuyant sur la densité des réseaux existant de gaz naturel (à la fois réseaux de transport et de distribution). En revanche, le réseau d'avitaillement, c'est-à-dire l'accès au dispositif pour effectuer un plein sous 200 bars, est encore peu développé sur le domaine public, même s'il est en pleine expansion.

En 2017, on dénombre en France 69 stations GNV (58 stations GNC, 11 station GNL) dont 43 sont accessibles aux poids lourds<sup>17</sup>.

<sup>12</sup> Arrêté du 9 avril 1964 réglementation des conditions d'équipement, de surveillance et d'exploitation des installations de gaz carburant comprimé équipant les véhicules automobiles.

<sup>13</sup> Circulaire du 1<sup>er</sup> décembre 2015 Régime fiscal de l'usine exercée de gaz naturel véhicules, de biométhane, de gaz naturel liquéfié et de biométhane liquéfié à usage carburant (UEGNV).

<sup>14</sup> Circulaire du 13 avril 2016 Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel (TICGN), point 74.

<sup>15</sup> Article 39 decies A Code général des Impôts.

<sup>16</sup> A l'heure de la rédaction du document, moins de 30 autocars circulent en France (parc d'autocars français en 2016 : 67 053).

<sup>17</sup> Mobilité Gaz OpenData (<https://gnv-grtgaz.opendatasoft.com>).

Pour se conformer aux prescriptions de la directive 2014/94/UE il est prévu de créer au minimum :

- Environ 80 points de ravitaillement en GNC au 31 décembre 2020 ouverts au public en tenant compte des stations existantes ;
- Environ 115 points de ravitaillement en GNC au 31 décembre 2025, dont environ 70 le long des axes ou dans les aires urbaines situées sur les corridors du réseau transeuropéen de transport (RTE-T).

Les objectifs de la filière (AFGNV<sup>18</sup>) sont plus ambitieux : 250 stations d'ici 2020.

Par ailleurs, il est possible de s'équiper d'une station de charge privée.

Précisons qu'il existe 2 types d'avitaillement : l'avitaillement rapide (5 à 10 minutes) et l'avitaillement «à la place» qui nécessite un temps de rechargement compris entre 5 et 8 heures. Dans certains cas de figure (selon le type d'équipement installé et utilisé pour faire le plein), il est possible de constater, en recharge rapide, l'impossibilité de faire le plein complet du véhicule (jusqu'à 20% de gaz en moins).

### Infrastructures dédiées

Plusieurs investissements sont nécessaires à la mise en place de véhicules fonctionnant au gaz naturel : une station de compression (si avitaillement en interne), un aménagement du dépôt (sécurisation) et de l'atelier (sécurisation + zone ATEX + équipements).

Il est possible d'implanter une station de compression et d'acheter le gaz de manière séparée. Une solution alternative s'offre aux entreprises : passer un contrat avec un énergéticien (pétrolier, gazier) qui s'occupera lui-même de l'installation et répercutera le coût sur le prix de vente du gaz.

Quelle que soit la solution retenue, il est nécessaire de disposer d'une arrivée de gaz à proximité du dépôt d'au minimum 4 bars, (16 bars sont préférables pour alimenter les flottes poids lourds). Compte tenu de la complexité des réglementations (ICPE/ ATEX), il est recommandé de procéder à une étude de faisabilité au préalable en intégrant les services de la DREAL.

### Exploitation

La capacité des véhicules est identique à celle d'un véhicule diesel.

Le prix inférieur du gaz (un litre de gazole coûte 1 €, un kg de GNC coûte 0,60€) permet un coût total de carburant inférieur à celui du diesel.

L'autonomie des véhicules est limitée à 500 ou 600 km. Cette technologie est adaptée pour les transports scolaires et les lignes régulières mais difficilement exploitable pour les activités touristiques et les services librement organisés.

Ces véhicules peuvent faire l'objet de restrictions de circulation pour des raisons de sécurité (tunnels) ou liées au gabarit du véhicule (positionnement des réservoirs en toiture). L'utilisation du GNC nécessite une formation à la conduite (une demi-journée) mais également de l'ensemble des personnels présents sur le site d'exploitation (règles de sécurité). Il convient de prévoir des procédures de sécurité à destination du personnel et des usagers.

Selon le mode d'avitaillement retenu, il faut prendre en compte le temps de connexion du véhicule à la station de charge et à sa déconnexion avant le départ dans le cas d'une charge lente au dépôt. Selon la zone de circulation du véhicule et sa proximité par rapport à la station de charge (au dépôt ou station publique), il faudra également intégrer les coûts de haut-le-pied.

Il est important de noter que l'utilisation d'une motorisation GNC permet d'éviter l'utilisation de l'AdBlue®.

### Maintenance

L'utilisation de la technologie GNC requiert une formation spécifique pour le personnel de maintenance ainsi que l'acquisition d'équipements et outillages particuliers.

Equipements de maintenance à prévoir :

- Passerelle mobile pour travail en hauteur ;
- Equipement pour levage du capotage des réservoirs de gaz ;
- Outillage spécifique au gaz (détection de fuite, intervention sur véhicule).

L'utilisation du GNC nécessite une sécurisation des ateliers à travers l'installation de détecteurs de gaz et la mise en place de zones ATEX.

Une fois l'atelier équipé et le personnel formé, la maintenance de ce type de véhicules ne pose pas de problèmes particuliers.

<sup>18</sup> Association Française du Gaz Naturel pour Véhicules

## Coûts

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document				
Véhicules	Infrastructures		Exploitation	Maintenance
Supérieur : ~ + 30 à 50%	Pour les ateliers :		Supérieur au global : • Coût du carburant inférieur • Formation des conducteurs et du personnel • HLP supplémentaires si station publique • Rédaction des procédures • Ne nécessite pas d'AdBlue®	Supérieur : ~ + 30%
	Supérieur, pour 30 véhicules : • Sécurisation atelier (~ 100 000 €) et remisage (si couvert) • Équipements de maintenance atelier (~ 70 000 €) • Visites réglementaires annuelles (~ 20 000 €)			
	Pour les stations :			
	Identique si stations publiques	Supérieur si stations privées ~ 650 à 700 000 € pour 30 véhicules		

A ce jour, le prix du gaz à 200 bars (GNC) est moins cher que le gazole, grâce à une fiscalité avantageuse. Le gaz naturel n'entre pas dans l'assiette de la TGAP (Taxe générale sur les activités polluantes).

Le prix d'achat d'un autocar est, selon le constructeur, supérieur de 30 à 50% par rapport à son équivalent diesel. Ce surcoût est nettement supérieur à ce que l'on constate habituellement pour les autobus où il est de l'ordre de 15 à 20%.

Les coûts indiqués concernant la sécurisation des ateliers et remisage (si couvert), les équipements de maintenance et les visites réglementaires annuelles sont issus des retours d'expérience d'opérateurs. Le coût d'une station privée d'avitaillement demeure élevé. Cela nécessite une flotte relativement importante et un kilométrage annuel élevé pour espérer amortir les surinvestissements sur une période de 15 ans.

De nombreux surcoûts sont liés au démarrage de cette nouvelle technologie, il est probable qu'ils s'amoin-drissent après plusieurs années de développement.



# 1seul

constructeur commercialise des autocars  
au GNC avec des soutes

# Synthèse

LE GNC (gaz naturel comprimé)

Le GNC représente une alternative intéressante aux carburants traditionnels pour réduire l'impact environnemental et amorcer le processus de décarbonation. Cette filière semble adaptée pour une partie des activités du transport routier de voyageurs à l'exception des services librement organisés et des activités touristiques pour lesquelles l'autonomie demeure encore insuffisante. Des freins subsistent encore au développement de cette technologie (réseau d'avitaillement insuffisant, coûts d'accès à la filière). Il est probable que ces freins disparaissent à moyen ou long terme. Une étude de faisabilité et d'implantation devra être réalisée préalablement à toute décision.

## + Avantages +



### Techniques

- Avitaillement rapide : 5 à 10 minutes ;
- Fiabilité équivalente aux véhicules diesel.



### Environnementaux

- Diminution des émissions de particules fines (PM) et des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
- Réduction importante des gaz à effet de serre (GES) lorsqu'on utilise du bioGNC ;
- Diminution des nuisances sonores.



### Economiques

- Prix du gaz en €/kg moins cher que celui du gazole en €/l ;
- Coût du carburant au km inférieur au diesel Euro VI ;
- Fonctionnement du moteur permettant d'éviter l'utilisation d'AdBlue®.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Autonomie de 500 à 600 km maximum ;
- Nécessité d'une formation spécifique pour le personnel de conduite (une demi-journée) et de maintenance ;
- Réseau d'avitaillement peu développé entraînant un risque d'attente élevée en cas de fréquentation importante de la station GNC ;
- Temps de rechargement important pour un avitaillement à la place ;
- En cas d'avitaillement à la place, pas de possibilité de connaître la consommation par véhicule (information de consommation pour l'ensemble du parc) ;
- Nécessité d'une arrivée de gaz avec une pression suffisante pour installer une station privée ;
- Rédaction de procédures de sécurité.



### Economiques

- Surcoût du véhicule à l'achat ;
- Coûts de maintenance plus élevés que sur un véhicule diesel Euro VI ;
- Coûts élevés d'une station privée d'avitaillement ;
- Coûts de haut-le-pied plus importants selon le lieu d'activité et l'implantation de la station de carburant ;
- Coûts de sécurisation de l'atelier ;
- Coûts des équipements d'atelier et outillages de maintenance ;
- Coûts liés aux visites réglementaires annuelles des installations d'atelier, stations de charge et équipements ;
- Coûts de maintenance annuelle des installations d'atelier, stations de charge et équipements.

## EXPERIMENTATIONS GNV

### 2015 - Pays de la Loire

2015 restera l'année de la première expérimentation d'un autocar roulant au biogaz. Le département de la Vendée a déployé une stratégie énergétique concrétisée par le plan « Vendée Energies Nouvelles » avec pour ambition de produire localement 50% de l'énergie consommée sur le département en 2025.

C'est dans ce contexte que le département s'est associé à plusieurs partenaires dont la FNTV 85, l'entreprise SOVETOURS, GRDF, Agri biométhane et SCANIA pour lancer la première expérimentation d'un autocar roulant au biométhane.

De mai à juin 2015, un autocar roulant au bioGNV et approvisionné par l'usine de méthanisation de Mortagne-sur-Sèvre a assuré successivement un circuit scolaire de 37 kilomètres puis une ligne régulière départementale de 225 km aller-retour (Cholet - Les Sables d'Olonne).

Le département a surtout réalisé un bilan technique de cette expérimentation qui a validé la faisabilité technique de faire circuler un autocar pour effectuer des circuits scolaires et des lignes régulières.

Cette expérimentation a permis d'observer l'accueil positif de la part des voyageurs, familles des élèves, conducteurs et salariés de l'entreprise réalisant cette expérimentation.

L'absence d'évaluation économique de cette expérimentation n'a, en revanche, pas permis d'acquiescer de connaissances sur le modèle économique de cette nouvelle motorisation.



Photo de l'autocar SCANIA qui a réalisé les expérimentations  
© FNTV

Le Syndicat d'Énergie de la Vendée et le Conseil régional des Pays de la Loire mènent actuellement un plan de déploiement de stations GNV dans le département et l'ensemble de la région afin de mailler le territoire en stations GNV et permettre aux entreprises de transports de pouvoir approvisionner leurs véhicules. Le Conseil régional des Pays de la Loire affiche, dans sa feuille de route régionale sur la transition énergétique, vouloir être la première région de France en matière de mobilités alternatives. Elle souhaite développer cette politique avec des véhicules légers et véhicules lourds de marchandises et de voyageurs. Elle souhaite donc poursuivre les expérimentations de motorisations alternatives sur les transports collectifs routiers.

### 2016-2017 - Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le 4 octobre 2016, GRDF et la FNTV PACA signaient une convention régionale de partenariat afin de tester et développer la filière gaz par le biais de plusieurs expérimentations. Ces expérimentations ont été menées en partenariat avec les autorités organisatrices de transports.

Philippe Tabarot, Vice-Président en charge des transports, de l'intermodalité et des déplacements de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et Jean-Pierre Serrus, Vice-Président en charge de la mobilité, des déplacements et des transports de la Métropole Aix-Marseille Provence ont manifesté l'engagement fort de leurs collectivités respectives dans la démarche initiée par la FNTV PACA.

Un autocar SCANIA et un autocar MAN roulant au GNV ont réalisé plusieurs expérimentations afin de tester en conditions d'exploitation, les caractéristiques techniques des véhicules (performances, autonomie), de vérifier l'appréciation de conduite par le conducteur ainsi que le ressenti des voyageurs.



Photo prise au sommet du Mont Ventoux lors de l'expérimentation réalisée dans le Vaucluse en juin 2017 avec un autocar MAN  
© Grégory Grandel



Les tests se sont poursuivis afin de recueillir les données nécessaires pour éclairer les politiques locales dans le choix des technologies.

- Les premiers tests ont été effectués par des adhérents de la FNTV PACA sur le périmètre métropolitain (lignes Martigues-Marseille, Martigues-Aix, Vitrolles - Aix en Provence et Aix-Marseille).
- Une expérimentation sur une ligne express régionale (Nice-Marseille-Aix) a permis de tester l'autonomie du véhicule.
- Une expérimentation a été menée dans le département du Vaucluse avec un autocar MAN (ligne Avignon - Orange et Cavaillon - Orange).

Ces trois expérimentations ont permis de constater que, sur les différentes typologies et services (ligne rapide, ligne cadencée, ligne de desserte fine), la solution GNV est concluante en termes de performance. La consommation est quasiment égale, voire inférieure, à celle d'un autocar diesel Euro VI. Le conducteur atteste d'une souplesse de conduite et d'une réduction des nuisances sonores.

La démarche s'inscrit dans le contexte favorable de la construction métropolitaine et de la régionalisation de l'organisation des transports non urbains qui concourent ensemble à promouvoir une vision renouvelée du transport par autocar.

Pour la Métropole d'Aix-Marseille Provence, le lancement de cette expérimentation est ainsi une première application concrète des objectifs fixés par l'Agenda de la Mobilité qui projette notamment de faire circuler 250 autocars au biogaz (produits localement et décarbonés) et de développer dans les 5 ans « l'un des plus vastes réseaux de cars Premium sur autoroute d'Europe ».

### 2017 - Nouvelle Aquitaine

De mars à juillet 2017, le département de la Gironde, GRDF, SCANIA et le Citram Aquitaine ont décidé d'expérimenter en conditions réelles d'exploitation un autocar roulant au GNC. Comme en Provence-Alpes-Côte d'Azur, l'expérimentation visait à tester le véhicule en exploitation commerciale notamment sur la fiabilité et le ressenti des voyageurs. Elle s'est déroulée sur la ligne Bordeaux-Salleboeuf du réseau Transgironde.

L'essai s'est révélé concluant sur tous les plans, les temps de chargement et surtout l'autonomie de l'autocar s'avèrent compatibles avec l'exploitation du service pouvant représenter jusqu'à 300 kilomètres par jour.

Les consommations sont quasiment identiques au gazole et, outre la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, l'utilisation du GNC a permis de constater une réduction des émissions de 95% des particules fines par rapport à un moteur diesel Euro VI.

Le conducteur souligne que la conduite est plus souple ; les voyageurs relèvent la réduction des émissions sonores.

En décembre 2017, une expérimentation se déroulera, en Auvergne-Rhône-Alpes, avec un autocar roulant au bio éthanol, un autre roulant au GNC et enfin un dernier roulant au diesel.



Photo de l'autocar SCANIA utilisé pour les expérimentations  
© FNTV

---

Technologie de rupture

---

# Le bioéthanol ED95

---



## Présentation / Caractéristiques

L'éthanol est produit à partir d'hydrocarbures, le bioéthanol est, quant à lui, produit à partir de biomasse. Ils peuvent être utilisés dans des moteurs essence (en mélange) ou dans des moteurs de type diesel modifiés. C'est le bioéthanol ED95 qui sera traité dans cette étude.

Le bioéthanol de 1<sup>ère</sup> génération est obtenu à partir de plantes céréalières (blé, maïs, orge, manioc), ou de plantes sucrières (betterave, canne à sucre). L'amidon ou le sucre issus de ces plantes est transformé en éthanol (autre nom de l'alcool) par un procédé de fermentation grâce à des micro-organismes.

La production de bioéthanol de 2<sup>ème</sup> génération est en cours de développement. Produit à partir de biomasse ligno-cellulosique, c'est-à-dire avec la tige et les feuilles de la plante, il permettrait d'améliorer le bilan global de la filière en permettant l'utilisation de résidus agricoles.

Le Brésil et les USA représentaient à eux deux 75% de la production mondiale d'éthanol estimée à 52 millions de m<sup>3</sup> en 2007. Le Brésil l'obtient à partir de la canne à sucre et les USA à partir de céréales. En France, il est produit à partir de betteraves, blé, maïs et de manière moindre à partir des marcs et lies de raisins provenant de l'élaboration du vin.

Le bioéthanol ED95 contient 95% d'éthanol aqueux en volume, et 5% d'additifs dont le but est d'améliorer les propriétés d'auto-inflammation de l'éthanol. Il s'utilise sur des moteurs diesel modifiés, essentiellement en Suède et au Brésil dans les flottes de véhicules lourds (marchandises et transports en commun).

## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
BIOETHANOL ED95 (écart vs diesel Euro VI)	~ - 60%	~ - 70%	~ - 90% (ACV <sup>19</sup> )

Source : données Scania

NB : L'ADEME disposera de ses propres valeurs début 2018

### Pollution locale

Selon Scania, l'utilisation du bioéthanol permet de réduire les émissions locales par rapport au diesel norme Euro VI.

### Pollution globale

On estime que la quantité de CO<sub>2</sub> absorbée par la photosynthèse des plantes nécessaires à la production du bioéthanol contrebalance la quantité de CO<sub>2</sub> émise lors de l'utilisation du véhicule (environ 90% de gaz à effet de serre en moins sur l'analyse du cycle de vie (ACV).

### Autres impacts

L'utilisation de bioéthanol ED95 en substitution aux carburants traditionnels réduit la dépendance énergétique des Etats au pétrole, participe au maintien d'emplois ruraux et les résidus de plantes peuvent permettre de nourrir le bétail.

Le bioéthanol est une ressource

**disponible  
et renouvelable**

<sup>19</sup> Analyse du cycle de vie.

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

L'ED95 est un biocarburant dont les caractéristiques sont définies par un arrêté du 29 mars 2016.

Il figure sur la liste des carburants autorisés en France depuis 2016<sup>20</sup> et n'est autorisé que pour les flottes professionnelles de véhicules disposant d'une logistique d'approvisionnement spécifique et de leurs propres capacités de stockage et de distribution.

### Fiscalité

Le carburant ED95 est répertorié à l'indice 56 de la nomenclature des carburants de l'article 265 du code des douanes. Son taux de TICPE est de 4,40 €/hectolitre sans possibilité de remboursement d'une fraction de la TICPE.

Par ailleurs, l'achat de véhicules fonctionnant au bioéthanol est éligible au suramortissement de 40% sur les biens productifs<sup>21</sup> jusqu'au 31 décembre 2017.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

L'utilisation de cette technologie nécessite d'avoir un moteur dédié. A ce jour, un seul constructeur commercialise des autocars avec soutes fonctionnant avec du bioéthanol ED95.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

Le bioéthanol est une ressource facilement disponible et renouvelable. Néanmoins, à ce jour, le réseau d'avitaillement demeure très peu développé. Il n'existe pas de réseau de distribution en stations-service, ce carburant étant réservé aux flottes captives disposant d'infrastructures de stockage.

Selon la localisation de l'entreprise, les possibilités d'approvisionnement des cuves doivent être confirmées par les fournisseurs de carburants du marché.

### Infrastructures dédiées

Ce carburant ne peut pas être mélangé au gazole et nécessite de disposer d'infrastructures de stockage spécifiques.

L'ED95 est hydrophile (il absorbe l'eau), plus volatile et sa vapeur dans une cuve de stockage est plus inflammable (intervalles d'inflammabilité) que les carburants fossiles. Il nécessite des précautions lors de son transport et pendant ses phases de stockage.

Les stations de distribution de carburants doivent être adaptées au niveau des cuves de stockage, des postes de distribution (adaptation des joints et des durites) et des consignes de sécurité.

Le stockage enterré du bioéthanol répond à la norme EN 12285-1. Cette dernière spécifie les exigences applicables aux réservoirs.

### Exploitation

Le confort de conduite et la capacité des véhicules sont analogues à celui d'un véhicule diesel.

La consommation est plus importante de l'ordre de 70 à 80% par rapport au diesel, car l'éthanol contient 35% d'oxygène alors que le gazole n'en contient pas. L'autonomie du véhicule sera par conséquent réduite de l'ordre de 50%. Conjuguée à l'obligation de s'approvisionner au dépôt, cela peut engendrer des contraintes d'exploitation. Malgré cela, cette technologie permet d'assurer l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs.

Enfin, l'utilisation de cette technologie nécessite de respecter des consignes de sécurité spécifiques pour les pleins de carburant.

### Maintenance

Les cycles du plan de maintenance sont divisés par deux par rapport à un véhicule diesel (vidange et changement du filtre à huile entre 20 000 km et 30 000 km selon le type de service).

L'utilisation de la technologie ED95 nécessite de changer régulièrement les injecteurs pour ne pas endommager le moteur (tous les 20 000 km).

Le convertisseur catalytique doit être changé tous les 350 000 km, tout comme les filtres à particules.

## Coûts

### Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document

Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Supérieur : (~ + 10%)	Supérieur : Implantation d'une nouvelle station ~ 50 000 €	Supérieur : • Surconsommation • HLP supplémentaires	Supérieur : ~ + 200%

Le coût (prix du carburant multiplié par la consommation) du bioéthanol ED95 est à ce jour supérieur à celui du gazole. L'utilisation de cette technologie implique des coûts de maintenance élevés, de l'ordre de 200% en plus par rapport à un véhicule diesel, et suppose des investissements modestes en infrastructure de stockage.

<sup>20</sup> Arrêté du 19 janvier 2016 relatif à la liste des carburants autorisés au regard des dispositions de l'article 265 ter du code des douanes.

<sup>21</sup> Article 39 decies A Code général des Impôts.

# Synthèse

Le bioéthanol ED95

*Depuis janvier 2016, le carburant bioéthanol ED95 figure sur la liste des carburants autorisés en France. A ce jour, un seul constructeur commercialise cette technologie nécessitant une motorisation dédiée.*

*Cette technologie est adaptée à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs dès lors que la distance parcourue permet de faire le plein au dépôt (transports scolaires, lignes régulières, services librement organisés, activités touristiques).*

*Ce carburant est largement utilisé en Suède et au Brésil. Une seule expérimentation en exploitation commerciale va être réalisée en Auvergne - Rhône-Alpes. À ce jour, les coûts liés à la surconsommation et à la maintenance restent importants.*

## + Avantages +



### Techniques

→ Ressources disponibles et renouvelables.



### Environnementaux

- Réduction des émissions d'oxydes d'azotes (NOx) et de particules (PM) ;
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).



### Economiques

→ Investissements modestes en infrastructures.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Nécessité d'avoir un moteur dédié ;
- Nécessité de changer régulièrement les injecteurs ;
- Autonomie deux fois inférieure à celle d'un véhicule diesel ;
- Stockage spécifique : carburant très volatil et très inflammable ;
- Insuffisance du réseau de distribution.



### Economiques

- Consommation plus importante ;
- Coût du carburant ED95 supérieur au diesel ;
- Coûts de maintenance élevés ;
- Coûts de haut-le-pied supplémentaires.

---

Technologie de rupture

---

# L'électrique

---




## Présentation / Caractéristiques

La technologie repose sur la propulsion du véhicule par un moteur électrique. L'alimentation de ce véhicule peut être réalisée par captation (il est dans ce cas raccordé à un réseau comme les trolleys bus ou les trains par exemple) ou par de l'énergie embarquée, généralement dans des batteries. Ce document sera consacré à cette dernière, qui est la seule envisageable pour le transport interurbain de voyageurs.

D'un point de vue technique, l'intérêt de cette solution réside, d'une part, dans la simplicité de construction et de conduite du véhicule, et d'autre part, par le rendement élevé du moteur. La difficulté demeure l'autonomie limitée des véhicules et le temps de rechargement des batteries.

L'utilisation de cette technologie implique une production d'électricité très importante compte tenu de l'impact sur le réseau électrique ; cet impact dépendra du nombre de véhicules en service.

**Seuls 2**   
**constructeurs**  
 proposent des autocars équipés  
 d'une motorisation électrique à ce jour

## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
<b>ELECTRIQUE</b> (écart vs diesel Euro VI)	- 100%	- 100%	Selon la source de production de l'électricité <sup>22</sup>

Source : Données Dietrich Carebus Group

### Pollution locale

L'utilisation d'un véhicule électrique permet d'éliminer toutes les émissions polluantes à l'échappement.

### Pollution globale

Selon le processus de production de l'électricité, les émissions de gaz à effet de serre sont variables. Le mix énergétique français est avantageux à cet égard (part prépondérante d'énergie nucléaire).

### Autres impacts

Selon les constructeurs, les batteries seraient 100% recyclables sous réserve de la mise en place de chaînes de recyclage à grande échelle.

La technologie électrique permet, par ailleurs, une absence de nuisances sonores et olfactives.

<sup>22</sup> Même si l'électricité est 100% renouvelable, son acheminement est consommateur de CO<sub>2</sub>.

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

Les véhicules électriques n'émettent aucune émission. Ils ne sont pas soumis aux normes d'émissions Euro.

### Fiscalité

L'électricité utilisée pour le transport routier de personnes au moyen de véhicules électriques ne bénéficie pas d'une taxation à taux réduit contrairement à celle utilisée pour le transport de personnes par train, métro, tramway, câble et trolleybus.

Des aides, locales ou nationales, pour l'achat d'un véhicule électrique se traduisent par des bonus écologiques, des réductions sur le coût des cartes grises. Ces exonérations ou allègements sont à étudier lors de l'achat.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

L'offre industrielle est à ce jour concentrée sur la mise au point et la commercialisation des autobus. A ce jour, seuls deux constructeurs proposent des autocars équipés d'une motorisation électrique. En juin 2017, le premier autocar électrique d'Europe a été livré à un transporteur de la région parisienne.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

Sous l'impulsion de la directive 2014/94/UE et de la loi sur la transition énergétique du 17 août 2015, un réseau d'infrastructures est en cours de déploiement pour permettre la recharge sur la voie publique. Ces infrastructures ne seront pas obligatoirement accessibles aux poids lourds et ne disposeront pas nécessairement de la puissance suffisante à la recharge de leurs batteries. Dès lors, des infrastructures spécifiques devront être développées.

La recharge des batteries d'un véhicule électrique peut être effectuée en stations publiques ou en stations privées.

### Infrastructures dédiées

Lorsque la recharge des batteries est effectuée en stations privées, elle nécessite l'achat d'un chargeur dont la puissance détermine le temps de charge et le nombre de véhicules pouvant être rechargés simultanément. Les chargeurs n'étant pas interopérables, cela ne permet pas un déploiement rapide de ce type de matériel. En fonction de la puissance nécessaire au rechargement des véhicules et de la localisation du dépôt, un réseau de moyenne tension et un transformateur (en amont des stations de charge) devront être implantés (coût supplémentaire à évaluer).

Des solutions de « biberonnage » peuvent être imaginées par analogie à ce qui existe dans les réseaux de transports urbains. Néanmoins, le manque de maturité de la filière pour l'autocar ne permet pas d'aborder ce sujet dans ce document.

Le gabarit des véhicules électriques peut être légèrement plus haut que celui des véhicules diesel. Il convient de s'assurer que la hauteur des accès aux bâtiments de maintenance ou de remisage est compatible avec ces véhicules.

### Exploitation

La capacité des véhicules commercialisés aujourd'hui est identique à celle des véhicules diesel. Le volume disponible en route est moindre. En l'absence de données, il est préférable d'attendre les premiers essais et exploitations pour déterminer la consommation du véhicule.

D'après les constructeurs, les véhicules électriques qui viennent d'être commercialisés disposent d'une autonomie comprise entre 150 et 200 km, ce qui ne permet pas de répondre à tous les besoins d'exploitation. L'utilisation d'un autocar électrique sans climatisation pourrait convenir pour effectuer des services scolaires.

L'utilisation d'une climatisation, du chauffage, le nombre de passagers et le profil de la ligne (vitesse commerciale, inclinaison de la route...) sont autant d'éléments qui impactent l'autonomie. L'autonomie diminuera progressivement après les 5 premières années d'utilisation en raison du vieillissement des batteries (jusqu'à -20%).

Le temps de recharge total des batteries est de 6 à 8 heures en utilisation normale. Des solutions permettent de recharger plus rapidement ou de faire des recharges partielles ; ce qui impacte négativement la durée de vie des batteries. Les contraintes de lieu de recharge des batteries sont à prendre en compte et peuvent générer des kilomètres de haut-le-pied.

En cas de défaillance du système de charge ou de coupure de courant (orage par exemple), il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs d'alerte afin d'assurer les services.

Les véhicules électriques sont très silencieux. Il est nécessaire d'ajouter des systèmes annexes (visuels et sonores) afin de prévenir tout risque de collision.

Cette technologie offre un confort de conduite et une qualité de transport supérieure pour les passagers (transmission continue, couple à bas régime, souplesse).

La technologie électrique permet de récupérer jusqu'à 30% d'énergie au freinage, sous réserve d'une conduite adaptée. Une formation à la conduite est à prévoir afin d'optimiser la récupération d'énergie (2h par conducteur).



### Maintenance

Le personnel de maintenance doit être formé à la technologie électrique. La formation obligatoire réglementaire pour intervenir sur les composants électriques sous tension (2 à 3 jours) se complète par une formation spécifique liée à la technologie des véhicules électriques (1 semaine minimum par mécanicien).

Equipements de maintenance à prévoir :

- Passerelle mobile pour travail en hauteur ;
- Chariot élévateur ou potence ;
- Outillage spécifique pour intervention sur des composants électriques.

La maintenance d'une chaîne de traction électrique est généralement plus simple que celle d'un moteur thermique. La fiabilité des véhicules de faible capacité est aujourd'hui équivalente à celle d'un véhicule diesel.

Une usure plus rapide des trains de pneus sur l'essieu moteur est à prévoir.

### Coûts

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document			
Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Supérieur : ~ + 200% pour un autocar de ligne régulière de 12m	Supérieur : • Chargeur : ~ 50 000 à 120 000 € HT • Équipements de maintenance atelier (~ 70 000 €)	Inférieurs <sup>23</sup> : Coûts de formation et de HLP supplémentaires contrebalancés par un prix du carburant moindre.	Supérieur : ~ 0,35 - 0,40 € /km (Renouvellement des batteries inclus)

Source : Données Dietrich Carebus Group

A ce jour, le prix des batteries reste élevé (pack batteries sur l'autocar : de 180 000 à 270 000 €), ce qui rend l'acquisition d'un véhicule électrique deux fois plus cher qu'un véhicule diesel. Il existe plusieurs modèles économiques dont l'un consiste à louer les batteries plutôt que de les acheter. Les entreprises devront étudier l'impact économique de ces solutions.

A moyen terme le prix des batteries devrait diminuer et la densité de stockage (Wh/kg) devrait être améliorée.

Les calculs de coût total de possession devraient donc être régulièrement mis à jour.

Les coûts de formation pour le conducteur dans le cadre de la récupération d'énergie au freinage sont de l'ordre de 5 000 €. Concernant les mécaniciens, les coûts de formations s'élèvent à environ 7 000 € (2 000 € pour la formation obligatoire réglementaire + 5 000 € de formation à la technologie électrique).



<sup>23</sup> Si on considère que le renouvellement des batteries est dans la maintenance.

# Synthèse

L'électrique

*Si, sur le plan environnemental et énergétique, la solution électrique est une filière intéressante, son utilisation pour l'autocar demeure en l'état actuel exclusivement adapté à des lignes de courtes distances (de 150 à 200 km). Les contraintes actuelles (coûts très élevés, réseau d'infrastructures de recharge peu développé pour les véhicules lourds, faible autonomie...) ne permettent pas d'envisager un développement de cette filière à court et moyen terme. Le premier autocar électrique d'Europe a été livré en juin 2017.*

## + Avantages +



### Techniques

- Amélioration de la performance énergétique des moteurs (du réservoir à la roue) ;
- Confort de conduite supérieur ;
- Récupération d'énergie au freinage (simplicité de la chaîne de traction électrique).



### Environnementaux

- Suppression totale des émissions polluantes (à l'exception des particules liées à l'abrasion des pneumatiques et à l'usure des plaquettes de freins) ;
- Diminution des nuisances sonores et olfactives.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Autonomie limitée ;
- Dégradation progressive de l'autonomie des batteries ;
- Temps de recharge des batteries important ;
- Diminution des capacités en route ;
- Durée de vie des batteries limitée ;
- Réseau d'infrastructures de recharge peu développé ;
- Pas de standard unique (protocole pour les bornes de recharge).



### Environnementaux

- Peut nécessiter d'augmenter la capacité de production et celle du réseau de distribution d'électricité en cas de recharge des véhicules lors des pointes de consommation électrique ;
- Obligation de mise en place de chaînes de recyclage des batteries usagées à grande échelle.



### Economiques

- Technologie coûteuse ;
- Importance du coût des batteries et de leur renouvellement ;
- Importance du coût du chargeur ;
- Coût de la formation des conducteurs et des personnels de maintenance ;
- Coût de la maintenance.

## LIVRAISON DU 1<sup>er</sup> AUTOCAR ELECTRIQUE

Le 15 juin 2017, le premier autocar 100% électrique d'Europe a été livré à B.E. green, filiale verte du transporteur de voyageurs Autocars Dominique. Cet autocar de tourisme BYD (12 mètres, 51 places assises avec ceintures de sécurité, sièges inclinables, prises USB individuelles, WiFi.) affiche une autonomie de 200 à 250 kms. Il a déjà été affecté pour des « city tours » ou

des excursions en périphérie des grandes villes pour de nombreux clients.

Patrick Mignucci, PDG et fondateur de B.E. green, a souhaité être la première entreprise à se doter d'un autocar de tourisme 100% électrique afin de compléter sa flotte électrique composée de 33 bus et minibus électriques.



© B.E. green

Technologie de rupture

# L'hybride



## Présentation / Caractéristiques

Le système hybride consiste à combiner deux sources d'énergie, l'une thermique et l'autre électrique ou hydraulique :

- **Électrique** : le système hybride électrique associe un moteur thermique et un groupe électrique moteur générateur, l'énergie étant emmagasinée dans des batteries ou des super-capacités ;
- **Hydraulique** : une hybridation hydraulique met en œuvre un moteur thermique associé à un ensemble pompe-moteur-accumulateur<sup>24</sup>. Cette technologie beaucoup plus rare, n'est pas encore présente sur les autobus de série. Dans le reste du document, on ne parlera que de la technologie hydrique électrique.

Le principe de fonctionnement d'un véhicule hybride repose sur la récupération et le stockage de l'énergie cinétique du véhicule lors de sa décélération pour la restituer lors des phases d'accélération.

Il existe deux grandes familles d'hybridation : les hybrides « séries » et les hybrides « parallèles ».

Les hybrides « séries », possèdent une transmission électrique alimentée par un groupe électrogène et des batteries. La suppression de la chaîne cinématique classique permet d'envisager des changements d'architecture profonds pouvant améliorer les fonctionnalités des véhicules en termes d'accès, de flux de passagers, de confort... Ils laissent également la possibilité de remplacer à terme le moteur thermique par une pile à combustible.

Les hybrides « parallèles », conservent la chaîne cinématique traditionnelle, la boîte de vitesses étant remplacée par un modèle intégrant un moteur électrique réversible. Cette solution, moins onéreuse à la conception, est réputée permettre un fonctionnement du véhicule en mode dégradé si une panne du système électrique survenait.

## Impacts environnementaux

Les impacts environnementaux générés par l'activité de transport étant en lien direct avec les consommations de carburant, l'utilisation de véhicules hybrides est un facteur de leur amélioration. Leur réduction sera directement corrélée au nombre de litres de gazole économisés.

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
HYBRIDE (écart vs diesel Euro VI)	- 13,3%	- 70%	- 10 à - 20%

Source : données Solaris (constructeur autobus)

### Pollution locale

Une moindre utilisation de l'énergie mécanique lors des phases d'accélération réduit les émissions de polluants. Le phénomène s'accroît pendant les périodes d'accélération, lorsque les émissions de polluants sur un moteur diesel sont les plus fortes.

### Pollution globale

Les émissions de gaz à effet de serre étant strictement proportionnelles à la consommation des carburants, tout litre de carburant non consommé engendrera une réduction de 3,16 kg CO<sub>2</sub>e<sup>25</sup> (du puits à la roue). L'utilisation d'un biocarburant améliorera encore ce bilan carbone.

### Autres impacts

On constate une réduction des nuisances sonores lors des phases de démarrage. La gestion des batteries (ou supercapacités) nécessite la mise en place de chaînes de recyclage à grande échelle.

---

*Technologie performante au plan environnemental pour les activités*  
**avec des arrêts fréquents**

---

<sup>24</sup> Source : Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains, ADEME, 2015.

<sup>25</sup> CO<sub>2</sub>e : CO<sub>2</sub> équivalent.

## Cadre réglementaire et fiscal

### Réglementation

Les véhicules hybrides répondent aux spécifications des normes Euro. Ils sont conçus pour fonctionner avec du gazole standard répondant à la norme EN590.

### Fiscalité

La fiscalité est identique à celle des véhicules diesel sur le plan des carburants.

## Maturité de la technologie

Les véhicules hybrides font partie des technologies de rupture obligeant à acquérir un véhicule spécifique.

### Disponibilité des véhicules

S'il existe une offre abondante pour les autobus, à ce jour, un seul constructeur commercialise des autocars équipés d'une motorisation hybride. Aucun ne circule en France actuellement.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

S'agissant du gazole, il n'y a aucun problème de disponibilité. Compte tenu de la technologie classique des moteurs thermiques, l'utilisation d'un carburant alternatif de type biocarburant ou carburant de synthèse n'est pas à exclure mais demande à être documentée pour chaque constructeur. L'utilisation de ce carburant renforcerait les gains sur les gaz à effets de serre des véhicules hybrides.

### Infrastructures dédiées

L'utilisation de la filière hybride présente l'avantage de ne pas nécessiter d'infrastructures spécifiques pour sa mise en place.

Le gabarit des véhicules hybrides est généralement légèrement plus haut que celui des véhicules diesel. Il convient de s'assurer que la hauteur des accès aux bâtiments de maintenance ou de remisage est compatible avec ces véhicules.

### Exploitation

La capacité et l'autonomie des véhicules sont identiques à celles d'un véhicule diesel de la même catégorie. Grâce au principe de récupération d'énergie lors des phases de décélération, la consommation des véhicules

hybrides est moindre (environ 10 à 20%) que celle d'un véhicule diesel selon l'activité. Faible sur les autoroutes, la réduction de consommation est plus importante dans le cadre d'activités périurbaines (réduction proche de celle des autobus). L'utilisation du véhicule hybride nécessite une formation du conducteur afin d'optimiser la récupération d'énergie (environ 2h par conducteur).

Les procédures de prise et de fin de service appliquées aux véhicules diesel sont transposables aux véhicules hybrides. En phase d'exploitation commerciale, il n'y a pas de contraintes réglementaires qui pourraient obliger à modifier les itinéraires.

Suite aux premiers retours d'expérience avec ces véhicules, les conducteurs semblent unanimes pour vanter l'agrément de conduite et le confort supplémentaire ressenti par une plus grande souplesse d'utilisation et une baisse du niveau sonore. Les accélérations sont convenables, les ralentissements plus doux qu'avec un frein conventionnel. Il n'y a pas d'à-coup lié aux changements de vitesses sur les véhicules avec une technologie de série.

Une formation des conducteurs à la conduite est nécessaire afin d'optimiser la récupération d'énergie pendant les phases de décélération (2h par conducteur).

### Maintenance

Le personnel de maintenance doit être formé à la technologie électrique. La formation obligatoire réglementaire pour intervenir sur les composants électriques sous tension (2 à 3 jours) se complète par une formation spécifique liée à la technologie des véhicules électriques (1 semaine minimum par mécanicien).

Equipements de maintenance à prévoir :

- Passerelle mobile pour travail en hauteur ;
- Chariot élévateur ou potence ;
- Outillage spécifique pour intervention sur des composants électriques.

Les coûts de maintenance observés sont plus élevés que pour les véhicules diesel. Ceci est dû en premier lieu au coût de remplacement de la batterie, puis à l'usure importante des trains de pneus sur l'essieu moteur en raison de leur sollicitation plus intense tant en phase d'accélération que de décélération.

Bien que la fiabilité de ces véhicules soit du même ordre que celle des véhicules diesel, les coûts de maintenance projetés sont de l'ordre du double de ceux d'un véhicule diesel.

## Coûts

### Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document

Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Supérieur : ~ + 50% Pour un autocar ligne régulière 13m	Supérieur : Equipements de maintenance atelier (~ 70 000 €)	Inférieur : Coût supplémentaire de formations des conducteurs contrebalancé par une baisse de consommation de l'ordre de 10 à 20%	Supérieur : Equipements du poste de travail (1 à 10 véhicules) et Formations ~ + 100% / diesel sur durée de vie du véhicule

Les coûts de formation pour le conducteur dans le cadre de la récupération d'énergie au freinage sont de l'ordre de 5 000 €. Concernant les mécaniciens, les coûts de formations s'élèvent à environ 7 000 € (2 000 € pour la formation obligatoire réglementaire + 5 000 € de formation à la technologie électrique).

# Synthèse

L'hybride

*Cette technologie permet de réaliser l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques, services librement organisés). Néanmoins, pour que cette technologie soit efficace sur le plan environnemental, il convient qu'elle soit utilisée pour des activités avec des arrêts fréquents. Elle perd donc son intérêt en dehors des aires urbaines.*

## + Avantages +



### Techniques

- Récupération de l'énergie du freinage ;
- Infrastructures d'approvisionnement spécifiques non nécessaires ;
- Possibilité d'utiliser des carburants alternatifs au gazole ;
- Agrément de conduite et confort.



### Environnementaux

- Réduction des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
- Réduction des émissions de particules (PM) ;
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- Amélioration du bilan carbone par l'utilisation d'un biocarburant ou d'un carburant paraffinique de synthèse ;
- Réduction des nuisances sonores lors des phases de démarrage.



### Economiques

- Réduction de la consommation de gazole.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Offre de véhicule restreinte.



### Environnementaux

- Gestion des batteries (ou supercondensateurs) en fin de vie ;
- Technologie non performante sur les activités interurbaines.



### Economiques

- Achat d'un véhicule dédié engendrant un coût d'acquisition largement supérieur ;
- Formations des conducteurs et des agents de maintenance.

Technologie de rupture

# Le GNL

(gaz naturel liquéfié)



## Présentation / Caractéristiques

Avec le gaz naturel comprimé (GNC), le gaz naturel liquéfié (GNL) constitue l'une des deux formes de gaz naturel pour véhicules (GNV).

Le GNL est du gaz naturel condensé à l'état liquide. Refroidi à une température de -161°C à la pression atmosphérique, il prend la forme d'un liquide clair, transparent, inodore, non corrosif et non toxique<sup>26</sup>. Sa densité énergétique est 2,5 fois plus importante que celle du GNC, c'est-à-dire que l'on peut augmenter l'autonomie du véhicule tout en réduisant le volume de carburant embarqué.

Depuis environ 5 ans, cette technologie se développe pour les poids lourds effectuant de grandes distances. Ils présentent une autonomie d'environ 1000 km avec un plein de carburant, soit sensiblement la même autonomie qu'un véhicule diesel.

La difficulté de cette technologie est de descendre la température du produit à -161°C et surtout de la maintenir afin qu'il reste à l'état liquide. Comme pour le GNC, cette technologie impose l'utilisation d'un véhicule dédié, équipé d'un moteur à allumage commandé et d'un dispositif de stockage de carburant et d'alimentation du moteur, propre à ce carburant.

Par ailleurs, le stockage de ce carburant à bord du véhicule nécessite des réservoirs cryogéniques (basse température) complexes à double épaisseur, le vide étant réalisé entre les deux parois pour améliorer l'isolation thermique<sup>27</sup>.

## Impacts environnementaux

Les émissions de polluants et de CO<sub>2</sub> à l'échappement sont identiques entre le GNC et le GNL. GRDF et l'ADEME travaillent actuellement à l'élaboration de facteurs d'émissions pour la production de GNC, de GNL, de BioGNC et de bioGNL.

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
GNL (écart vs diesel Euro VI)	- 53%	- 96%	~ + 10%

Source : données IVECO

### Pollution locale

L'utilisation du GNL permet une très forte réduction des émissions locales.

### Pollution globale

Le bilan carbone est impacté par le rendement du moteur GNL à allumage commandé, inférieur d'environ 10% à celui du moteur diesel. Cependant, plusieurs constructeurs européens sont en cours de développement d'un système d'injection combiné GNL et gazole dit "dual-fuel HPDI" qui permettra de brûler le GNL avec l'efficacité d'un moteur diesel<sup>28</sup>. Selon l'analyse du cycle de vie (ACV), l'utilisation de bioGNL permet la réduction des émissions de gaz à effet de serre par captation à la source des émanations qui auraient lieu naturellement.

Des pertes de carburant par évaporation (perte en poids d'environ 1% par jour lorsque le véhicule n'est pas utilisé) viennent pénaliser le bilan gaz à effet de serre.

### Autres impacts

La diminution des nuisances sonores est de l'ordre de 50% par rapport au diesel Euro VI.

## Cadre réglementaire et fiscal

Le cadre réglementaire applicable au GNL (gaz naturel liquéfié) est celui issu du GNV (gaz naturel pour véhicule).

### Réglementation

L'exploitation de véhicules GNL est soumise à une réglementation stricte et complexe afin d'apporter toutes les garanties de sécurité.

#### • Véhicules :

Concernant les véhicules, les pièces de rechange doivent être conformes au règlement européen R110 CEE-ONU. Il décrit les prescriptions relatives à l'homologation des composants de véhicules fonctionnant au GNV. Les visites réglementaires sont identiques à celles d'un véhicule diesel.

#### • Installations :

Le GNL relève de la rubrique 4718 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), il existe deux systèmes distincts d'autorisation d'ouverture de site selon la capacité des installations (déclaration ou autorisation préfectorale)<sup>29</sup>. Les distances de sécurité entre les équipements de la station, entre les équipements et un bâtiment recevant du public, ou les limites de bruit par rapport aux zones d'habitation sont normalisées<sup>30</sup>.

Les installations de remplissage ou de distribution de gaz inflammables liquéfiés relèvent de la rubrique n° 1414-3 de la nomenclature des ICPE et sont soumises à un système déclaratif. Une visite périodique<sup>31</sup> est obligatoire pour les installations et pour les ateliers où les installations de détection de gaz et des dispositifs de sécurité sont vérifiés. Il est nécessaire de créer des zones ATEX (Atmosphère Explosive).



<sup>26-27</sup> Source : Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains, ADEME, 2015.

<sup>28</sup> Dans le système "dual-fuel HPDI" deux carburants (gaz et gazole) sont disponibles simultanément dans le véhicule : le gaz est injecté dans le cylindre pour créer un mélange homogène air/gaz et le gazole est injecté en petite quantité à la fin de la compression pour s'auto-allumer et induire la combustion du mélange gaz/air comprimé. Dans les phases de ralenti, seul le gazole est injecté.

**• Circulation :**

La circulation des véhicules GNV peut être réglementée par arrêté préfectoral dans certains lieux (tunnels par exemple).

**Fiscalité**

Le GNL ne figure pas dans la nomenclature de l'article 265 du code des douanes. Le taux de TICPE est celui du GNC en application du principe d'équivalence du 3° du même article (indice 36, pour 2017 le taux est de 5,80 €/100 m³).

Le GNL bénéficie d'incitations fiscales, dont voici les principaux dispositifs :

- Exonération de la Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel (TICGN)<sup>32</sup>;
- Suramortissement de 40% sur les biens productifs<sup>33</sup> pour un achat de véhicule jusqu'au 31 décembre 2017.
- Cartes grises : les conseils régionaux peuvent, sur délibération, exonérer en totalité ou à concurrence de la moitié de la taxe proportionnelle sur les certificats d'immatriculation, les véhicules fonctionnant, exclusivement ou non, au GNV.

**Maturité de la technologie**

Cette technologie est encore en cours de mise au point pour les camions en Europe et déjà utilisée à grande échelle en Chine. Elle n'est, à ce jour, pas dupliquée aux véhicules de transport en commun, bien que cela puisse présenter un intérêt en termes d'autonomie pour les activités touristiques et les services librement organisés.

**Disponibilité des véhicules**

A ce jour, aucun constructeur ne commercialise d'autocars fonctionnant au GNL.

**Coûts**

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document			
Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Supérieur : ~+ 30 à 50%	Supérieur : ~ 1 000 000 €	Aucune donnée disponible	Aucune donnée disponible

Source : données Shell et Scania

Aucun retour d'expérience ne permet à ce jour de confirmer les coûts annoncés par les constructeurs et énergéticiens. Toutefois, les conditions de transport et de stockage spécifiques laissent penser que le coût des stations GNL est vraisemblablement plus important que celui des stations GNC.

**Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement**

En France, le réseau de ravitaillement en GNL se compose en 2017 de 11 stations<sup>34</sup>. Sous l'impulsion de la directive 2014/94/UE du Parlement européen, un nombre approprié de points de ravitaillement va être créé. 25 stations sont prévues au 31 décembre 2025, le long des corridors du réseau transeuropéen de transport (RTE-T) central.

Le remplissage d'un véhicule GNL impose par ailleurs un équipement de protection individuel (EPI).

**Infrastructures dédiées**

Il est possible de construire une infrastructure privée de ravitaillement en GNL.

Les stations de remplissage pour le GNL ne sont pas connectées au réseau de gaz et nécessitent l'approvisionnement du réservoir de stockage de la station par camion.

**Exploitation**

L'utilisation de la technologie GNL devrait permettre d'accroître l'autonomie des véhicules (grâce à une densité énergétique supérieure). Ainsi, le GNL nécessite deux fois moins de volume embarqué que le GNC pour la même autonomie. Cependant, la consommation de carburant est impactée par le phénomène de « boil-off »<sup>35</sup>.

L'utilisation de cette technologie nécessite une formation spécifique pour le remplissage et de prendre des précautions particulières pour le remisage des véhicules (pas de confinement).

**Maintenance**

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

<sup>29</sup> Circulaire du 1<sup>er</sup> décembre 2015 Régime fiscal de l'usine exercée de gaz naturel véhicules, de biométhane, de gaz naturel liquéfié et de biométhane liquéfié à usage carburant (UEGNV)

<sup>30</sup> Arrêté du 7 janvier 2003 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous l'une ou plusieurs des rubriques nos 1413 ou 4718 de la nomenclature des installations classées

<sup>31</sup> Article R. 512-57 du Code de l'environnement

<sup>32</sup> Circulaire du 13 avril 2016 Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel (TICGN), point 74

<sup>33</sup> Article 39 decies A Code général des Impôts

<sup>34</sup> Mobilité Gaz OpenData (<https://gnv-grtgaz.opendatasoft.com>)

<sup>35</sup> Evaporation

# Synthèse

Le GNL (gaz naturel liquéfié)

Le GNL présente des caractéristiques très similaires au GNC. La technologie est moins mature, aucun constructeur ne commercialisant d'autocar. Cependant, l'autonomie supérieure au GNC pourrait être, à terme, adaptée à l'ensemble des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières, activités touristiques et services librement organisés).

## + Avantages +



### Techniques

- Autonomie équivalente à celle du diesel (deux fois supérieure à celle du GNC) ;
- Stations de remplissage spécifiques non connectées au réseau de gaz.



### Environnementaux

- Diminution des émissions d'oxydes d'azote (NOx) et de particules fines (PM) ;
- Diminution des nuisances sonores.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Pas de véhicule commercialisé ;
- Nécessité d'une formation spécifique pour le remplissage.



### Environnementaux

- Dégazage en cas de non utilisation entraînant l'émission de méthane ;
- Bilan carbone du GNL supérieur à celui du GNC (acheminement du GNL par camion depuis les ports) ;
- Pas de bioGNL disponible.



### Economiques

- Surcoût des véhicules et de la maintenance ;
- Coût des stations GNL plus important que celui des stations GNC.

Technologie de rupture

# L'hydrogène et la pile à combustible



## Présentation / Caractéristiques

La pile à combustible est un dispositif électrochimique dans lequel l'hydrogène et l'oxygène gazeux se combinent pour fournir de l'électricité, de l'eau et de la chaleur suivant un processus inverse de celui de l'électrolyse.

Cette réaction s'opère au sein d'une pile à combustible essentiellement composée de deux électrodes (l'anode et la cathode) séparées par un électrolyte ; c'est la réaction inverse de l'électrolyse de l'eau. A l'anode, l'oxydation électrochimique de l'hydrogène produit deux protons qui traversent l'électrolyte et deux électrons qui passent dans le circuit extérieur en produisant l'énergie électrique et vont réduire électro chimiquement l'oxygène (de l'air) en produisant de l'eau.

Ces réactions peuvent se produire à la température ambiante grâce à un catalyseur qui favorise la coupure des liaisons chimiques dans les molécules d'hydrogène et d'oxygène.

La durée de vie d'une pile à combustible est de l'ordre de 7000 heures soit, à 40 km/h de moyenne, 280 000 km.

La pile à combustible agit toujours en complément d'une batterie et suivant son dimensionnement, elle est qualifiée de pile à combustible pleine puissance ou pile à combustible « range extender ».

## Impacts environnementaux

	Oxydes d'azote (NOx)	Particules (PM)	Gaz à effet serre (GES)
Hydrogène - Pile à Combustible (écart vs diesel Euro VI)	- 100%	- 100%	Selon la source de production de l'hydrogène <sup>36</sup>

Source : Données Shell

L'utilisation d'une pile à combustible permet de supprimer toutes les émissions polluantes (rejet uniquement de vapeur d'eau). Cette technologie permet une absence de nuisances sonores et olfactives.

L'hydrogène peut être produit à partir d'énergies renouvelables (à partir de biogaz ou d'électricité elle-même d'origine renouvelable) pour un bilan carbone neutre. Toutefois, la production de l'hydrogène par reformage catalytique du méthane, la plus économique et la plus commune aujourd'hui, engendre des émissions de CO<sub>2</sub>.

*Sa disponibilité n'est pas envisagée à moyen terme en raison de*  
**son coût prohibitif**

<sup>36</sup> L'utilisation d'électricité est nécessaire pour produire de l'hydrogène

## Cadre réglementaire

### Réglementation

Le stockage de l'hydrogène, relève de la rubrique 4715 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), il existe deux systèmes distincts d'autorisation d'ouverture de site, selon le débit ou la capacité des installations (déclaration ou autorisation préfectorale).

Les distances de sécurité entre les équipements de la station, entre les équipements et un bâtiment recevant du public, ou les limites de bruit par rapport aux zones d'habitation sont normalisées.

## Maturité de la technologie

### Disponibilité des véhicules

A ce jour, aucun constructeur ne commercialise en France d'autocar fonctionnant avec cette technologie. Cependant, quelques autobus à hydrogène circulent dans le monde.

### Disponibilité du carburant et conditions de ravitaillement

L'utilisation de cette technologie permet un remplissage rapide en station (de l'ordre de 3 à 5 minutes). Néanmoins, à ce jour, le réseau de distribution de l'hydrogène est quasi-inexistant. Il n'existe que des stations privées à des fins de démonstration. La France a engagé des actions visant à favoriser le déploiement d'un réseau d'infrastructures de recharge dédiées à l'hydrogène, filière encore émergente.

### Infrastructures dédiées

La technologie « 700 bars », développée pour les véhicules légers, nécessite de disposer de stations de remplissage privées. Par ailleurs, l'hydrogène est particulièrement difficile à stocker car il est volatil, explosif et extrêmement inflammable.

### Exploitation

L'autonomie des véhicules est limitée à environ 300 à 500 km selon la pression dans les réservoirs d'hydrogène et leur taille.

Les performances de la pile à combustible devraient être identiques à celles d'un véhicule à combustion interne. Cependant, aucune donnée n'est disponible à ce jour.

### Maintenance

Aucune donnée n'est disponible actuellement.



## Coûts

Coûts au regard de la technologie diesel Euro VI, référentiel du document

Véhicules	Infrastructures	Exploitation	Maintenance
Supérieur : ~ + 400 à 500% (Estimation)	Supérieur : Environ 1 000 000 € pour une station (350 bars à 200 kg/j)	Pas de données disponibles	Pas de données disponibles

Source : SHELL (pour le volet "infrastructures")

# Synthèse

L'hydrogène et la pile à combustible

*Cette filière énergétique pourrait jouer un rôle important dans le futur. Toutefois, sa disponibilité n'est pas envisagée à moyen terme en raison de son coût prohibitif.*

*Elle pourrait permettre d'atteindre un bilan carbone neutre sous réserve de lever les freins actuels (stockage difficile, réseau de distribution insuffisant et coûts prohibitifs).*

*Par ailleurs, cette technologie ne permettrait de réaliser qu'une partie des activités du transport routier de voyageurs compte tenu d'une autonomie limitée.*

## + Avantages +



### Techniques

→ Distribution rapide.



### Environnementaux

- Absence d'émissions polluantes ;
- Possibilité de production de l'hydrogène à partir d'énergies renouvelables (électricité) pour un bilan carbone neutre ;
- Réduction des nuisances sonores et olfactives.

## - Inconvénients -



### Techniques

- Nécessite des stations de remplissage spécifiques ;
- Difficulté de stockage de l'hydrogène ;
- Insuffisance du réseau de distribution de l'hydrogène.



### Environnementaux

- Emission de CO<sub>2</sub> lors de la production de l'hydrogène par reformage catalytique.



### Economiques

- Coût prohibitif des véhicules ;
- Coût prohibitif des infrastructures.

# Conclusions

## Tableau comparatif des différentes filières énergétiques au regard du diesel Euro VI.

	Filières	Impact environnemental			Autres émissions	Coûts			
		NOx (oxydes d'azote)	Particules	GES (gaz à effet de serre)	Bruit / Odeur	Investissement véhicule	Infrastructures dédiées	Exploitation	
Technologies de transition	GTL	< Euro VI	< Euro VI						
		Euro VI	Euro VI						
	HVO	< Euro VI	< Euro VI						
		Euro VI	Euro VI						
Technologies de rupture	GNC			GNC					
				bioGNC					
	BIO ETHANOL ED 95								
	ELECTRIQUE								
	HYBRIDE								
	GNL				GNL				
					bioGNL <sup>1</sup>				
HYDROGENE/ PILE A COMBUSTIBLE									

<sup>1</sup> Identique GNC sous réserve de confirmation étude ADEME/GRDF



## Conclusions

Légende

Beaucoup mieux que le diesel Euro VI	Mieux que le diesel Euro VI	Identique au diesel Euro VI	Moins Bien que le diesel Euro VI	Beaucoup moins bien que le diesel Euro VI
Pas d'information disponible				

Avant chaque prise de décision, une étude de faisabilité est nécessaire.

La prise en compte de l'importance de l'investissement en cas de changement de technologie, la pérennité de la technologie alternative, l'existence et la densité des infrastructures d'approvisionnement et la localisation de l'activité sont les principaux facteurs à évaluer.

Coûts	Carburant				Véhicules			Capacité d'assimilation	
	Maintenance	Fiscalité	Consommation	Coût <sup>2</sup> carburant	Réversibilité avec le gazole	Disponibilité	Autonomie	Capacité	Facilité d'accès à la technologie
					OUI	OUI			
					OUI	OUI			
					NON	OUI <sup>3</sup>			
					NON	OUI <sup>3</sup>			
					NON	OUI <sup>3</sup>			
	Gazole				OUI	OUI <sup>3</sup>			
	Electrique								
					NON	NON			
					NON	NON			

<sup>2</sup> Coût carburant = prix du carburant x consommation

<sup>3</sup> Disponibilité du véhicule selon le type d'activité, voir tableau page suivante

## Tableau de disponibilité des véhicules en fonction de la source d'énergie et de l'activité

	Transports scolaires	Lignes régulières	Tourisme / Occasionnel	Services librement organisés
DIESEL EURO VI	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible
GTL - HVO	1	1	1	1
GNC	2	2	Indisponible	Indisponible
BIO ETHANOLE D 95	3	3	3	3
ELECTRIQUE	4	4	Indisponible	Indisponible
HYBRIDE	5	5	5	5
GNL	Indisponible	Indisponible	Indisponible	Indisponible
HYDROGENE / PILE A COMBUSTIBLE	Indisponible	Indisponible	Indisponible	Indisponible

■ Disponible 
 ■ Disponible avec restrictions 
 ■ Indisponible

1 - Carburants adaptés à l'ensemble des activités sous réserve que la distance parcourue permette de faire le plein au dépôt. Ces carburants peuvent être utilisés pour tous les véhicules, cependant, les constructeurs ne garantissent les couples moteurs/carburants que pour les véhicules Euro VI.

Energéticiens : Shell pour le GTL, HVO pas disponible sur le marché français

2 - Un seul constructeur commercialise un autocar avec soutes fonctionnant au GNC (SCANIA). Trois constructeurs proposent des véhicules urbains réceptionnés aux autocars sans soutes (IRISBUS - IVECO / MAN / EVOBUS (MERCEDES)).

3 - Un seul constructeur commercialise un autocar adapté à l'utilisation de l'ED95 (SCANIA). Ce carburant est adapté à l'ensemble des activités sous réserve que la distance parcourue permette de faire le plein au dépôt.

4 - Seuls deux constructeurs proposent des autocars électriques (BYD / DIETRICH CAREBUS GROUP).

5 - Un seul constructeur commercialise un autocar équipé d'une motorisation hybride (IRIZAR).

# Perspectives

A l'heure actuelle (septembre 2017), aucune filière énergétique n'est substituable au diesel pour effectuer la totalité des activités du transport routier de voyageurs (transports scolaires, lignes régulières régionales, activités touristiques, services librement organisés, tourisme). Il n'existe pas à ce jour de filière industrielle mature pour des autocars roulant au GNC, à l'éthanol, hybrides ou électriques et pas de réalité pour des autocars roulant au GNL ou à l'hydrogène.

Des autocars roulant au GNC, au bioGNC et à l'éthanol ED95 ont fait l'objet d'expérimentations entre 2015 et 2017. Quelques véhicules GNC ou électriques commencent à circuler sur des marchés très spécifiques.

Dans l'attente de filières matures, les technologies de transition (GTL et HVO) peuvent apporter une réponse immédiate aux problématiques de qualité de l'air en diminuant les émissions polluantes des parcs de véhicules antérieurs à l'Euro VI.

Au-delà du niveau de développement des filières énergétiques, il apparaît indispensable de poser le mix-énergétique comme un principe incontournable de la transition énergétique pour les autocars. Même à terme, aucune filière (gaz, électrique, hybride...) ne pourra être exclusive des autres. Toutes les alternatives au diesel ont leur pertinence compte tenu de la variété des activités du transport routier de voyageurs. Chaque territoire doit être en capacité de porter une politique volontariste pour développer une filière énergétique eu égard à sa position géographique et à ses choix politiques.

Pour remplacer le diesel à moyen terme, le gaz apparaît comme une solution efficace sur la longue distance bien que l'électrique puisse être utilisé pour les activités périurbaines. A plus long terme, le développement de l'hydrogène apparaît théoriquement comme une solution efficace pour réussir la transition énergétique complète du secteur des transports.

**Pour y parvenir, il conviendra de lever l'ensemble des freins au développement de ces filières qu'ils soient de nature économique, technologique ou politique.**

**Il est indispensable que les constructeurs proposent rapidement aux transporteurs de véritables alternatives.**

**Il est indispensable que les réseaux d'avitaillement se développent sur le territoire.**

**Il est indispensable que les pouvoirs publics accompagnent les entreprises de transport pour réussir ce virage ambitieux sans menacer leur pérennité et leur développement au risque de porter atteinte à l'emploi et au dynamisme économique du secteur qui contribue à la croissance française.**

**La condition de la réussite de la transition énergétique réside dans le respect d'un calendrier réaliste et acceptable pour tous.**

---

## Remerciements :

L'ADEME, la FNTV et Régions de France souhaitent remercier les différents partenaires qui ont contribué à la réalisation de ce document. Les constructeurs, (BYD, DIETRICH CAREBUS GROUP, IRISBUS-IVECO, IRIZAR, MAN, SCANIA), les énergéticiens (Shell, Total, GRDF), l'AFHYPAC, les membres des commissions « Technique, Sécurité, Environnement » et « Développement du transport public » de la FNTV et plus particulièrement Pierre Jorieux.



L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en oeuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire. L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du Ministère de la Transition écologique et solidaire et du Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)



La Fédération Nationale des Transports de voyageurs (FNTV) est une association professionnelle qui rassemble tous les métiers et toutes les entreprises (TPE, PME, groupes) du transport par autocar.

Complémentaire des autres modes, l'autocar est un mode de transport contemporain, sûr, confortable, écologique et économique. Il incarne des valeurs de convivialité, rapproche les villes et les campagnes et contribue au dynamisme et au développement de la France par la création d'emplois non délocalisables.

Grâce à son expertise du transport par autocar et à sa présence au plus près des territoires, la FNTV porte auprès des élus et des pouvoirs publics locaux et nationaux des propositions qui traduisent les attentes de ses adhérents et anticipent les enjeux du secteur. La FNTV contribue ainsi à l'intérêt collectif en misant sur un mode de transport durable et performant de mise en relation des territoires et des hommes.

[www.fntv.fr](http://www.fntv.fr)



Régions de France regroupe les 18 Régions de France. Elle est la voix des Régions auprès des pouvoirs publics français et des institutions européennes. Elle promeut le fait régional auprès des citoyens et des acteurs de la vie économique et sociale. Centre de ressources pour les élus régionaux et leurs services, Régions de France organise la concertation et les échanges de bonnes pratiques entre les Régions. En matière de mobilité, 1<sup>er</sup> budget des Régions, celles-ci sont responsables des transports non urbains de personnes, des transports scolaires, et de l'intermodalité.

[www.regions-france.org](http://www.regions-france.org)

