

QUELLE MOTORISATION CHOISIR POUR VRAIMENT DÉCARBONER LE TRANSPORT ROUTIER ?



Pôle Mobilité

Stéphane Amant

Senior Manager, Responsable pôle Mobilité

Nicolas Meunier

Consultant Mobilité

Côme de Cossé Brissac

Consultant

Novembre 2020

Contexte et objet de l'étude

Pour répondre au défi climatique, le secteur de la mobilité n'a d'autre choix que de se réinventer, en particulier le transport routier, que ce soit pour les personnes ou les marchandises. A travers de nouvelles technologies, via de nouveaux usages, en agissant sur la demande elle-même : le défi est tel que tous les leviers devront être actionnés.

S'agissant du levier technologique, malgré les annonces des grands acteurs industriels et les intentions affichées par les donneurs d'ordres, le chemin de la transition énergétique n'est pas encore clairement tracé : il est difficile d'affirmer aujourd'hui avec certitude quelles seront les alternatives les plus pertinentes aux énergies fossiles, entre bioGNV, biocarburants liquides, électrique à batterie, hydrogène ou thermique hybridé. Afin de hiérarchiser ces différentes options énergétiques accessibles, l'un des juges de paix sera **l'empreinte carbone en cycle de vie**, en prenant en compte la fabrication, l'usage et la fin de vie des véhicules, et **l'approche du « puits à la roue »¹ pour les vecteurs énergétiques**.

Ce résumé pour décideurs présente ainsi les résultats les plus récents obtenus par Carbone 4 sur ce sujet, pour les Véhicules Utilitaires Légers (VUL), les autobus et les tracteurs routiers. Le but est d'éclairer le débat et d'aider les acteurs à prendre les meilleures décisions en toute connaissance de cause. De la production/extraction jusqu'à l'usage final du véhicule.

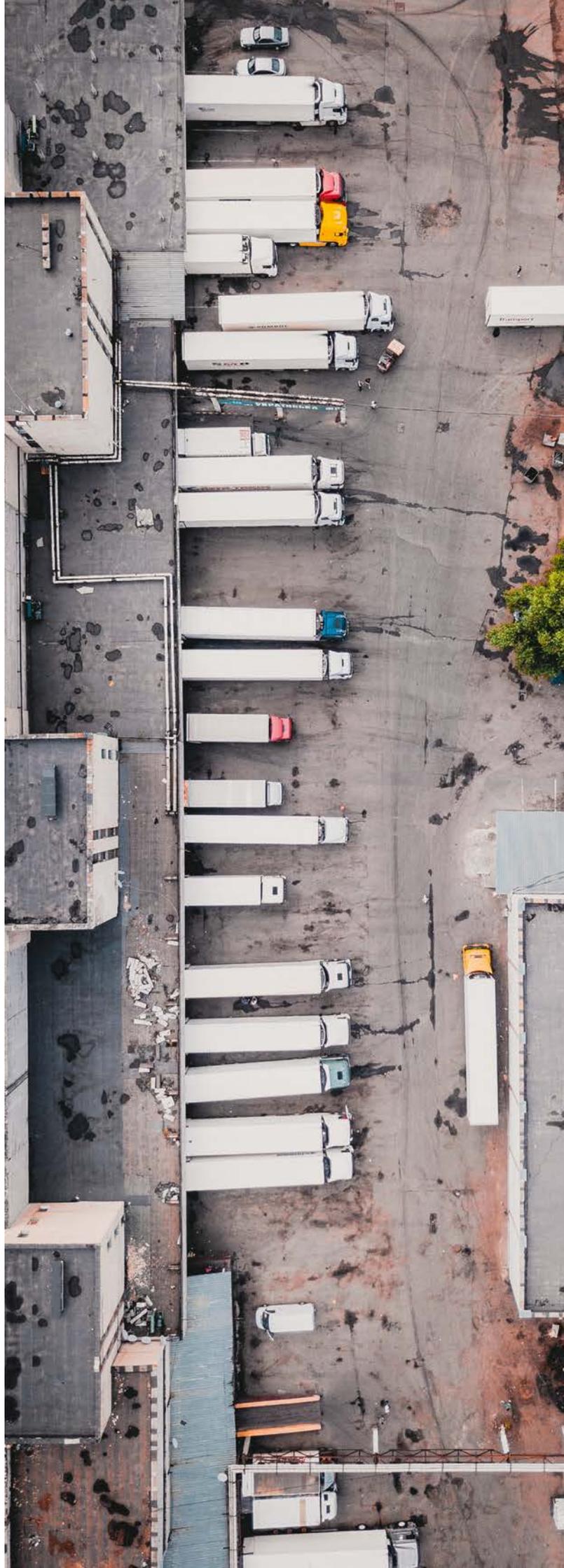
Les hypothèses utilisées, les résultats détaillés et les analyses de sensibilité sont disponibles dans notre [publication détaillée](#). A noter que pour les véhicules thermiques, l'incorporation de biocarburants dans le gazole ou l'essence, et de biométhane dans le GNC (Gaz Naturel Comprimé) est prise en compte².

Glossaire

GES	Gaz à Effet de Serre
VTH	Véhicule Thermique
VEB	Véhicule Electrique à Batterie
VEH	Véhicule à Hydrogène (Pile à Combustible)
MHEV	Véhicule Thermique à hybridation légère
GNV	Gaz Naturel Véhicule
GNC	Gaz Naturel Comprimé

1. De la production/extraction jusqu'à l'usage final dans le véhicule.

2. Ex : pour les VTH Diesel, les calculs prennent en compte un % croissant de biodiesel au cours du temps.



BIO-GNV, BATTERIES ÉLECTRIQUES ET HYDROGÈNE DÉCARBONÉ SUR LE PODIUM

En considérant l'empreinte carbone d'un véhicule professionnel (VUL, autobus, tracteur routier) sur son cycle de vie, c'est-à-dire sa fabrication, puis son usage pendant 12 ans et enfin sa fin de vie (cf. **Figure 1**, **Figure 2** et **Figure 3**), **les véhicules les moins émissifs sont :**

Les véhicules au bioGNV

Les VTH-bioGNV présentent une réduction d'environ 75% de l'empreinte carbone par rapport à un véhicule thermique diesel. Cette conclusion favorable s'applique quel que soit le type de véhicule considéré (VUL, autobus, tracteur routier). L'empreinte carbone très faible est due au facteur d'émissions du biométhane ($44 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}^3$) et à l'hypothèse que les véhicules au gaz seraient développés avec une hybridation légère (comme pour les véhicules thermiques conventionnels). Le facteur d'émissions du biométhane variant par ailleurs peu selon les pays de production, ce constat reste valable dans l'ensemble de l'Europe. En revanche, le potentiel de biométhane disponible pour la mobilité lourde est limité (voir plus loin).

A noter que la filière de production par méthanisation présente des co-bénéfices qui se traduisent par des émissions évitées au niveau du système de traitement des déchets ou du système agricole. Ces co-bénéfices ne peuvent pas être reportés sur le facteur d'émissions du biométhane produit, mais sont tout à fait valorisables en tant que contribution à la décarbonation des autres secteurs (voir encart dans la [publication détaillée](#)).

Les véhicules électriques à batterie, quel que soit le mix électrique de la région considérée

Les VEB présentent une réduction de 60 à 85% de l'empreinte carbone par rapport à un véhicule thermique fossile quel que soit le pays considéré, et ce malgré la fabrication de la batterie et son recyclage.

Un mix décarboné (France, électricité renouvelable) permet les meilleures performances, mais même un véhicule électrique à batterie vendu aujourd'hui en Allemagne, voire en Pologne, reste largement moins émissif qu'un véhicule thermique comparable.

3. Étude ENEA-Quantis pour GRDF – Évaluation des impacts GES de l'injection du biométhane – Mars 2020.

Les véhicules électriques à hydrogène produit par électrolyse ou par vaporeformage de biométhane, avec une électricité décarbonée (réseau français ou renouvelable)

Le VEH présente de très bons résultats à condition que l'hydrogène lui-même soit bas carbone ! Si ce dernier est produit par électrolyse, l'électricité doit être décarbonée (comme en France ou avec des énergies renouvelables). A contrario, la production par électrolyse avec l'électricité de réseau conduit à des résultats très défavorables dans des pays comme l'Allemagne ou au Bénélux. De même, si l'hydrogène est produit par vaporeformage, il doit l'être avec du biométhane, ce qui pose alors la question de la bonne allocation d'une ressource limitée.

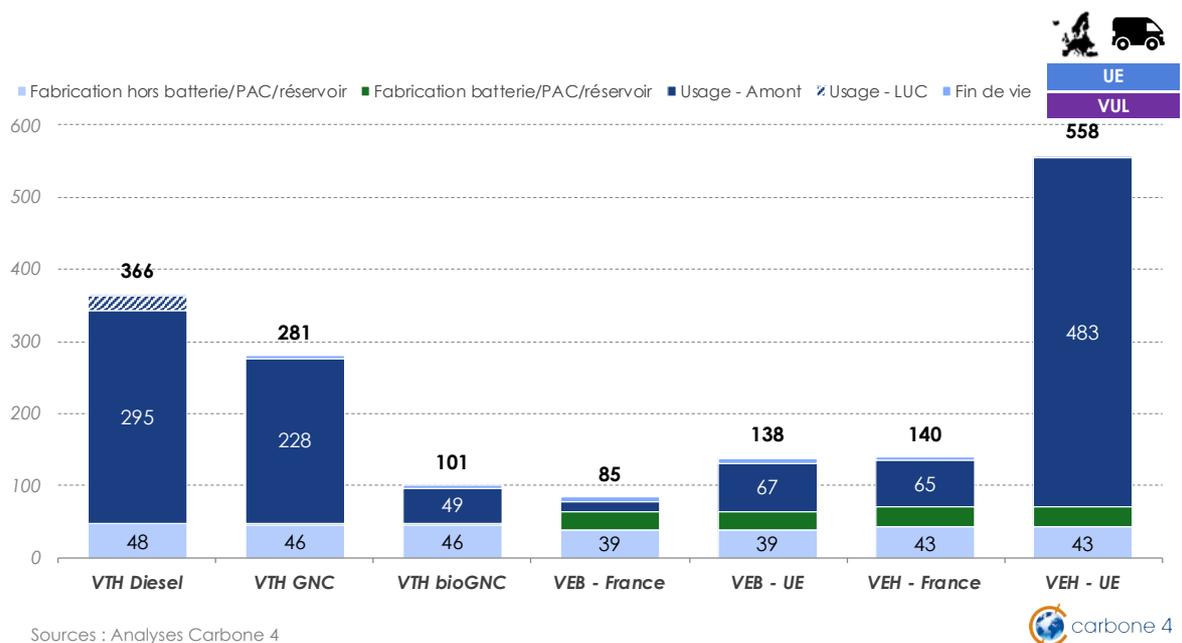


Figure 1 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un VUL vendu en 2020 Europe – VUL type grand fourgon | gCO₂e/km

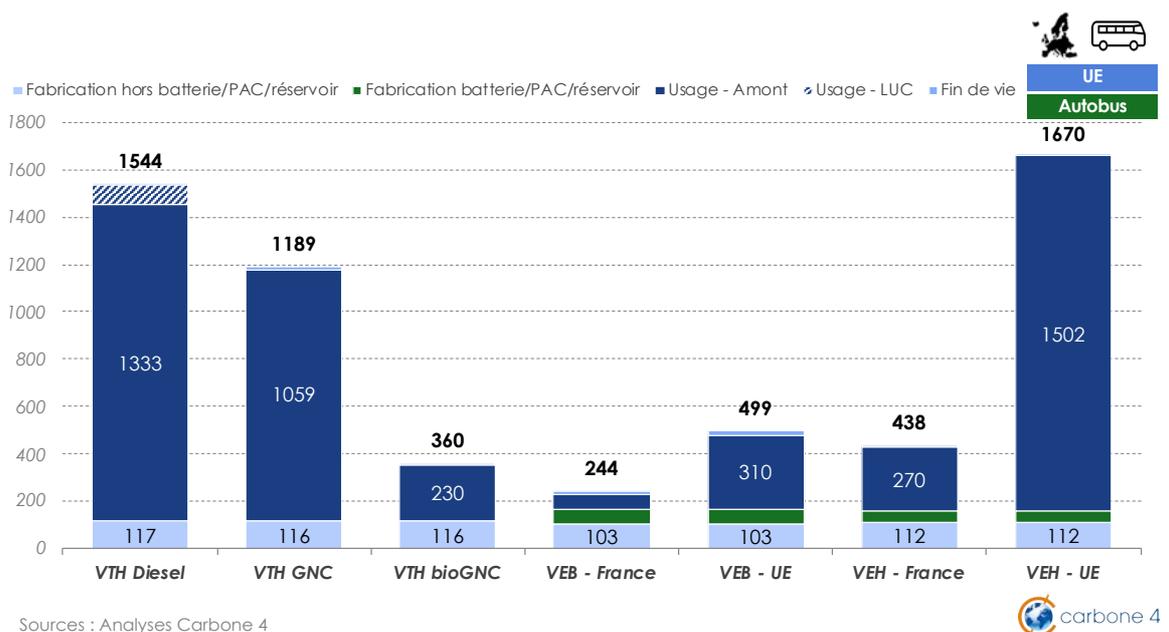


Figure 2 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un autobus vendu en 2020 Europe – Autobus 12m | gCO₂e/km

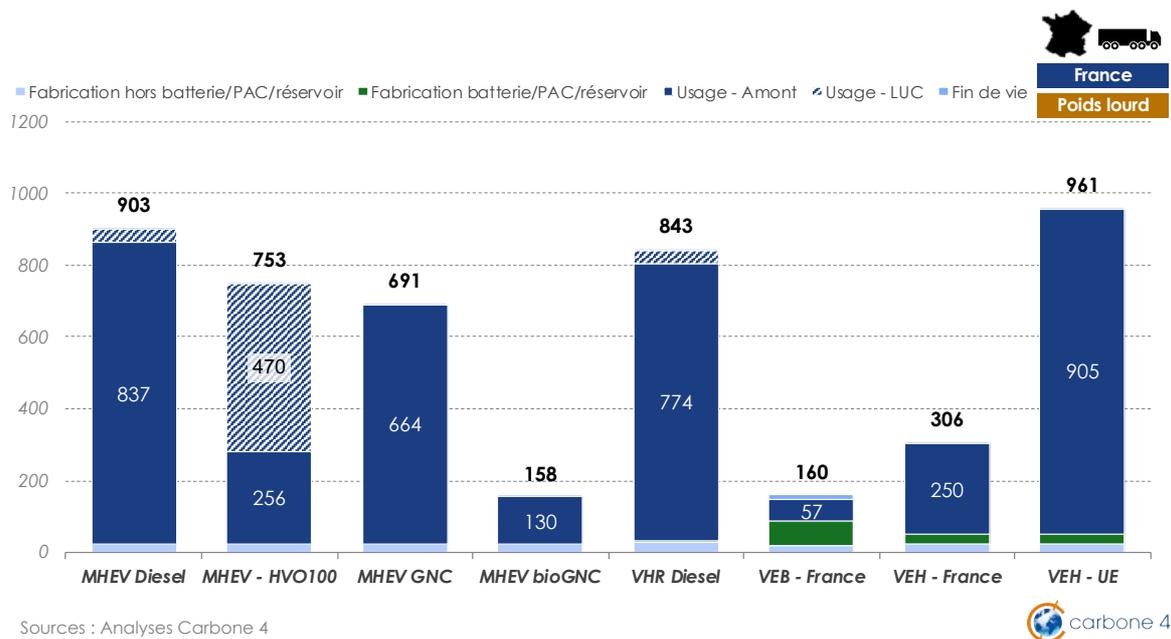


Figure 3 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un tracteur routier vendu en Europe – Tracteur routier PTR4 40 t | gCO₂e/km

Le potentiel de production en hydrogène bas carbone restera encore faible pendant de nombreuses années, et ce pour couvrir une multiplicité de besoins (notamment industriels). A court terme, cela doit inciter à **réserver cette option technologique pour les cas où le VEB trouve ses limites** (ex. du transport de marchandises longue distance par PL, des autobus parcourant des distances quotidiennes supérieures à 200 km sans possibilité de recharger, des VUL très utilisés par des artisans ne disposant pas de point de charge au domicile, etc.). A plus long terme, l'offre d'hydrogène bas carbone permettra de compléter l'offre de bioGNV, limitée (voir plus loin), et de continuer à pallier les défauts des VEB.

Des nuances intéressantes sont à préciser, selon le type de véhicule.

Concernant **les VUL et les autobus circulant en milieu urbain**, les motorisations électriques et hydrogène (bas carbone) sont cependant à privilégier pour l'absence d'émissions **de NOx et particules fines** (à l'échappement), par rapport au bioGNV. A noter que **grâce à la récupération d'énergie** importante lors des freinages fréquents, le VEB affiche dans ce cas la meilleure performance carbone.

A l'inverse, **le biométhane est la seule solution technologique véritablement décarbonante disponible à date pour les tracteurs routiers**, en attendant l'arrivée des solutions « zéro émission ».

Enfin, **les véhicules au GNV (hors bioGNV), les véhicules thermiques hybrides, ou même les biocarburants liquides⁵ à l'horizon 2040 n'apportent que peu de gains** : ces solutions ne sont pas à la hauteur en matière de décarbonation attendue pour le transport routier.

4. Étude ENEA-Quantis pour GRDF – Évaluation des impacts GES de l'injection du biométhane – Mars 2020.

5. Changement d'affectation des sols directs et indirects pris en compte dans l'étude, contrairement à la réglementation européenne à date.

ZOOM SUR LES BIOCARBURANTS ET LE BIOMÉTHANE

Les biocarburants liquides ne permettent qu'une décarbonation modeste, car d'une part leur taux d'incorporation dans le gazole et dans l'essence est relativement faible (~5% de la part énergétique du carburant en Europe en 2020, estimation à environ ~10% en 2035), et d'autre part l'empreinte carbone de certains agrocarburants est similaire, voire supérieure à celle des carburants fossiles, en prenant en compte les changements d'affectation des sols⁶ (voir [publication](#)).

Ainsi, **pour le biodiesel en 2030**, même avec des hypothèses favorables (comme la suppression de l'huile de palme qui représente 25% de la consommation de biodiesel en Europe en 2019), **l'empreinte carbone est peu améliorée**. Dans le cadre d'une utilisation de biocarburants purs (HVO100⁷), l'empreinte n'est diminuée que de 20% (voir [Figure 4](#)).

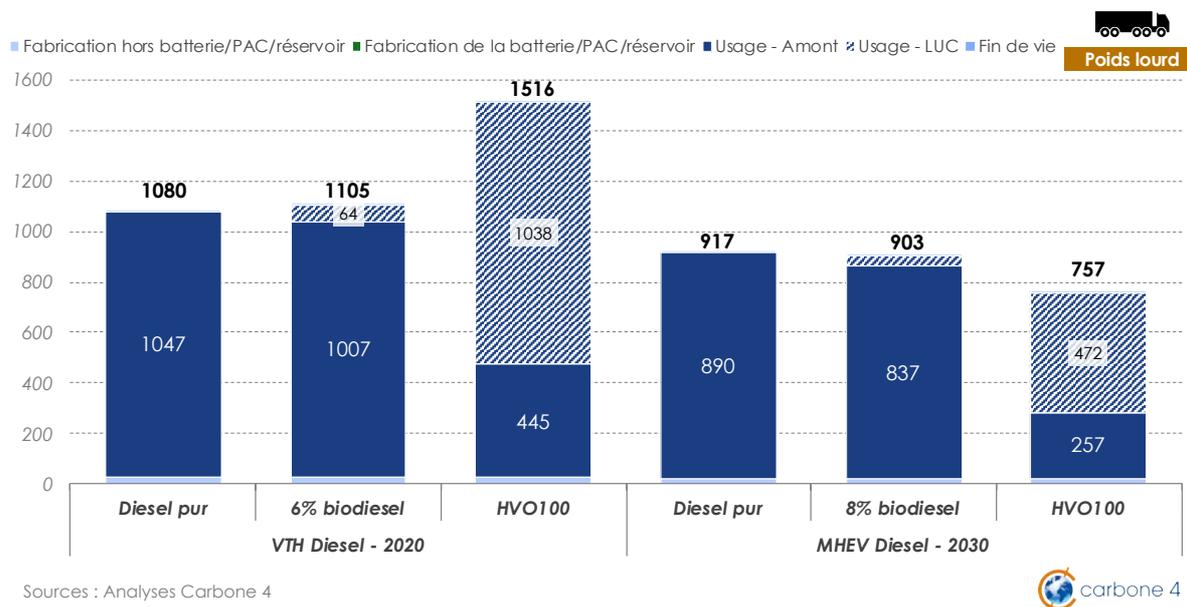


Figure 4 – Comparaison de l'empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un poids lourd vendu en 2020 et 2030 | gCO₂e/km

Concernant le biométhane, nos calculs ont confirmé qu'il représente **une excellente piste pour décarboner le transport routier**. A son débit cependant, **l'utilisation de bioGNV a moins d'impact que les solutions électrifiées sur la réduction de la pollution de l'air ou du bruit en zone dense**.

Un avantage apparemment fort de la filière gaz est que **les réseaux de transport et de distribution sont déjà en place**, ce qui limite la question des infrastructures

6. Changement d'affectation des sols directs et indirects pris en compte dans l'étude, contrairement à la réglementation européenne à date.

7. Même composition d'intrants que dans le cas d'un taux d'incorporation à 6%/8% respectivement.

d'avitaillement. Néanmoins, cet avantage apparent peut aussi être vu comme un risque pour le climat : en effet, tant que le bioGNV ne se substituera pas au gaz naturel fossile dans des proportions significatives, les utilisateurs de véhicules au gaz brûleront avant tout du GNV carboné, ce qui ne permettra absolument pas de réduire les émissions de GES dans les bonnes proportions. Le **développement accéléré de la mobilité gaz pourrait même conduire à verrouiller les émissions de GES du transport sur une à deux décennies, via du gaz naturel essentiellement fossile**, si la production de biométhane est insuffisante.

“
**Au mieux, 1/4 des poids lourds
 pourraient rouler au bioGNV en 2050.**
 ”

Le gros point d'interrogation concernant le biométhane porte justement sur sa disponibilité réelle à grande échelle pour le transport. D'après un panorama réalisé à partir de différents travaux de référence (ADEME, IEA, ICCT, CERRE, Gas for climate : voir [publication](#)), le champ des possibles apparaît ainsi relativement vaste pour sa production. Pour se fixer les idées néanmoins, nous avons traduit en termes comptables ce que l'objectif de la Stratégie Nationale Bas-Carbone sur le gaz renouvelable dans le transport signifiait en matière d'approvisionnement de la flotte de véhicules roulant au bioGNV, en France à l'horizon 2050, avec des hypothèses favorables.

France - vision 2050		Commentaires
Demande SNBC	40 TWh	<ul style="list-style-type: none"> Obj : 200-300 TWh de gaz renouvelable (biométhane et hydrogène) en 2050, dont 40 TWh attribué au transport Hypothèse optimiste : l'ensemble du gaz renouvelable dans les transports est du biométhane
Conso moyenne d'un autobus / PL	306 700 kWh/an	<ul style="list-style-type: none"> Reprise des consommations et kilométrage du modèle pour véhicules produits en 2030
Nombre de véhicules au bioGNV	130 000	<ul style="list-style-type: none"> Parc français de véhicules au GNV constitué uniquement d'autobus et de PL
Part du parc de véhicules routiers	12%	<ul style="list-style-type: none"> Hypothèse d'un parc de véhicules routiers stable à 1 M. d'autobus/PL

Sources : SNBC, MTEs, gaz-mobilité.fr



Tableau 1 – Estimation de la part potentielle du parc routier d'autobus et de PL français roulant au biométhane en 2050

Dans cette configuration avantageuse, **la proportion de PL pouvant rouler avec 100% de bioGNV en 2050 est de l'ordre de 12% (y compris les autobus)**. En doublant la quantité de biométhane disponible pour le transport⁸ (passant de 40 à 80 TWh), on arriverait alors à **une valeur haute de 24% des poids lourds pouvant rouler avec 100% de bioGNV en France en 2050**.

Cette approche reproduite sur l'UE conduit à des résultats tout à fait similaires : **environ 1/4 des poids lourds européens au mieux pourra rouler avec 100% de bioGNV en 2050, 1/10 étant sans doute plus réaliste**.

8. Soit parce que la production totale est plus forte qu'anticipée (plus proche des 300 TWh que de 200 TWh), soit parce que la part réservée au transport est augmentée (par ex. 40% des 200 TWh, au lieu des 20% prévus aujourd'hui).

LA TECHNOLOGIE N'EST PAS LE SEUL LEVIER

Du point de vue des émissions de GES, la combinaison du bioGNV et de l'électrification par batteries, complétée dans quelques années par les solutions hydrogène, semble donc la voie la plus pertinente pour aller vers des VUL et des PL bas carbone.

Pour autant, **il est crucial de rappeler que la technologie seule ne permettra pas de réduire suffisamment nos émissions** dans les prochaines décennies. Par ailleurs, les solutions alternatives étudiées ici présentent pour beaucoup **d'autres impacts qu'il faut aussi maîtriser**. C'est pourquoi il est capital de faire mention ici des autres leviers de réduction particulièrement efficaces déjà existants, à mobiliser en parallèle :

- Réduire les flux à la source (nombre et portée des déplacements) pour les marchandises
- Mieux remplir les véhicules lourds (éliminer les retours à vide, réduire les livraisons express non optimisées)
- Favoriser le report modal autant que possible, vers les transports massifiés plus sobres en carbone (bateau, train), voire les modes actifs en ville (cargo bikes), en fonction des situations

A RETROUVER DANS NOTRE PUBLICATION

Tous les résultats ne figurent pas dans cette synthèse et c'est pourquoi nous vous invitons à découvrir notre publication complète sur le sujet. Vous y découvrirez notamment davantage sur **les facteurs en faveur ou en défaveur** de chacune des alternatives, des **focus détaillés** sur certains vecteurs énergétiques (biocarburants liquides, biométhane, hydrogène), ainsi que des **analyses de sensibilité**. Et bien entendu toutes les **sources et hypothèses** employées.

A noter que ces travaux couvrent aussi le cas des **véhicules particuliers** (segments B et D) qui ont également été passés au crible de nos analyses.



Carbone 4 est le premier cabinet de conseil indépendant spécialisé dans la stratégie bas carbone et l'adaptation au changement climatique.

En permanence à l'écoute des signaux faibles, nous déployons une vision systémique de la contrainte énergie-climat, et mettons toute notre rigueur et notre créativité en œuvre pour transformer nos clients en leaders du défi climatique.

Contact : mobilite@carbone4.com