

# QUELLE MOTORISATION CHOISIR POUR VRAIMENT DÉCARBONER L'AUTOMOBILE ?

**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 l'automobile. 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.

Concernant le levier technologique, malgré les annonces gouvernementales et les prises de position de grands acteurs industriels, 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 »<sup>1</sup> pour les vecteurs énergétiques**.

Ce résumé pour décideurs présente ainsi les résultats les plus récents obtenus par Carbone 4 sur ce sujet, pour éclairer le débat et aider les acteurs à prendre les meilleures décisions en toute connaissance de cause.

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, de biométhane dans le GNC (Gaz Naturel Comprimé) est prise en compte<sup>2</sup>.

## Glossaire

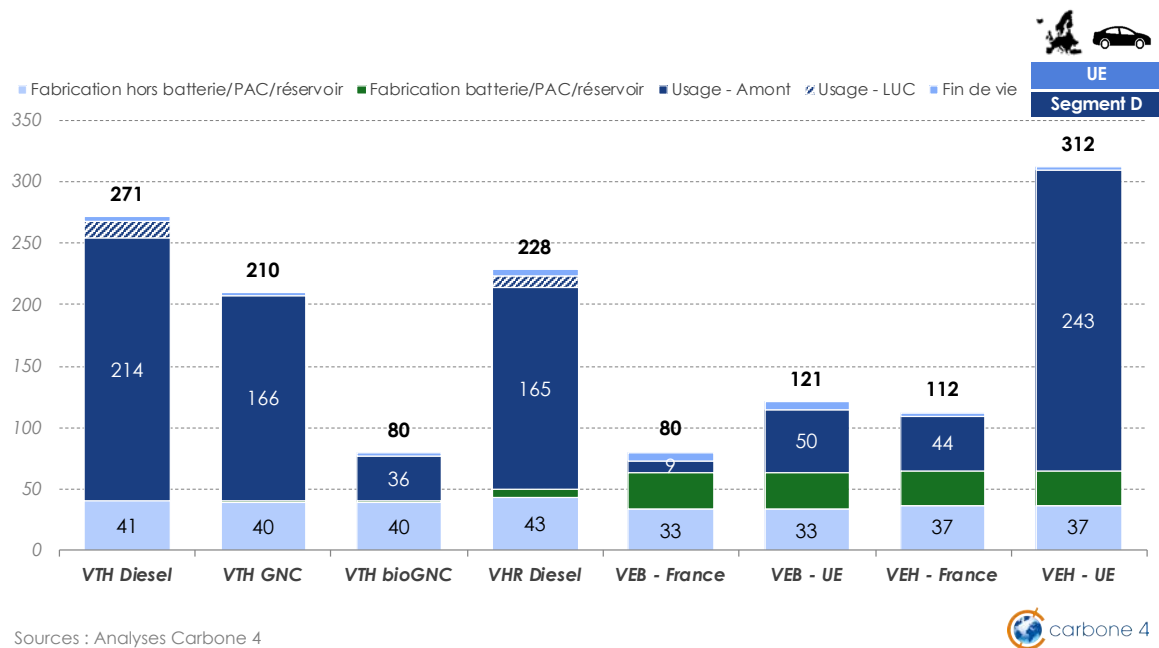
GES	Gaz à Effet de Serre
VTH	Véhicule Thermique
VHR	Véhicule Hybride Rechargeable
VEB	Véhicule Electrique à Batterie
VEH	Véhicule à Hydrogène (Pile à Combustible)
GNV	Gaz Naturel Véhicule
MHEV	Véhicule Thermique à hybridation légère
GNC	Gaz Naturel Comprimé

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.



# LA PALME REVIENT AU VÉHICULE ÉLECTRIQUE A BATTERIE



**Figure 1 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'une voiture vendue en 2020<sup>3</sup> Europe – Segment D | gCO<sub>2</sub>e/km**

En considérant l'empreinte carbone d'une voiture vendue aujourd'hui sur son cycle de vie, c'est-à-dire sa fabrication en 2020, son usage pendant 12 ans et sa fin de vie en 2031 (cf. **Figure 1**), **les véhicules particuliers les moins émissifs sont :**

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

**Les VEB présentent une réduction de 50 à 70% de l'empreinte carbone par rapport à un véhicule thermique fossile**, et ce malgré la fabrication de la batterie et son recyclage.

Et si un mix électrique décarboné (France, électricité renouvelable) permet de meilleures performances, un VEB vendu aujourd'hui en Allemagne, voire en Pologne, reste moins émissif qu'un véhicule thermique équivalent. Cette conclusion relativement nouvelle est dû à deux effets : (i) la production en masse de batteries pour l'électromobilité a permis de diminuer significativement leur empreinte carbone unitaire (effet d'échelle), (ii) le mix électrique de tous les pays européens se décarbone progressivement.

3. VTH : Véhicule Thermique ; VHR : Véhicule Hybride Rechargeable ; VEB : Véhicule Électrique à Batterie ; VEH : Véhicule Électrique à Hydrogène (électrolyse).

## Les véhicules au bioGNV (VTH-BioGNV)

**Le véhicule roulant au bioGNV a la plus faible empreinte carbone**, grâce au facteur d'émissions très faible du biométhane (44 gCO<sub>2</sub>e/kWh<sup>4</sup>) et avec 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. Cependant, **la ressource en biométhane est limitée, et il vaut mieux la réserver à d'autres usages pour lesquels l'électricité trouve ses limites**, notamment pour la mobilité lourde (cf. [publication détaillée](#)).

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 hydrogène (VEH) produit par électrolyse ou par vaporeformage de biométhane, avec une électricité décarbonée (réseau français ou renouvelable)

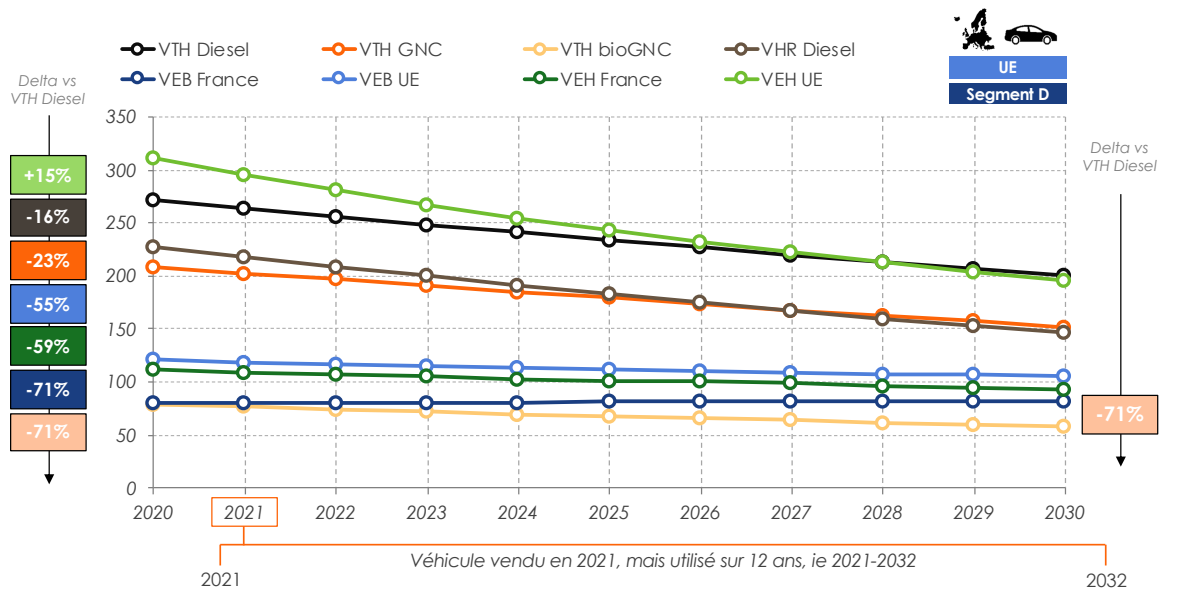
**Le VEH présente de très bons résultats à condition que l'hydrogène lui-même soit bas carbone !** Si ce dernier est produit par électrolyse, l'électricité doit être décarbonée (comme en France ou avec des énergies renouvelables). A contrario, la production par électrolyse avec l'électricité de réseau 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.

Le potentiel de production d'hydrogène bas carbone restera encore faible pendant de nombreuses années, et ce pour couvrir une multiplicité de besoins (notamment industriels). Dans le transport, cela doit inciter à **réserver en priorité l'hydrogène pour la mobilité lourde** (poids lourds, bus, autocars) où les batteries atteignent leur limites (volume requis, charge utile, autonomie du véhicule, rapidité de recharge), ou pour les cas particuliers d'usages très intensifs avec taux de disponibilité élevés, comme certains taxis.

A l'inverse, **les véhicules au GNV (hors bioGNV), les véhicules thermiques hybrides, ou même les biocarburants liquides<sup>5</sup> 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 secteur.

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.



Les batteries du BEV augmentent de 60 à 90 kWh de 2020 à 2030, ce qui freine la baisse des émissions sur la période.  
Sources : Analyses Carbone 4



**Figure 2 – Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie du millésime considéré  
France – Segment D | gCO<sub>2</sub>e/km**

Véhicules électriques, véhicules au bioGNV ou véhicules hydrogène (avec un H<sub>2</sub> bas carbone) sont donc sur le papier les 3 alternatives permettant une décarbonation compatible avec les objectifs de neutralité carbone d'ici 30 ans. Pour les VP, la solution par batteries semble la plus pertinente : néanmoins, si l'électricité n'est pas une ressource manquante en tant que telle, les batteries des véhicules électriques s'appuient sur des ressources minérales qui ne sont ni infinies, ni mobilisables immédiatement et dont les conditions d'extraction peuvent poser problème. **La décarbonation du parc automobile devrait donc passer par une large électrification des véhicules**, mais sous conditions :

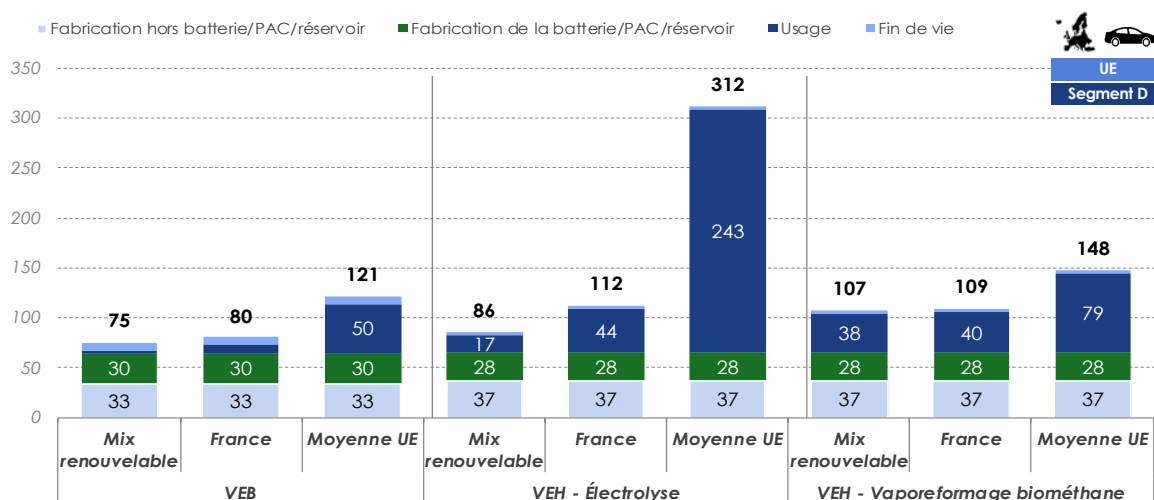
- Favoriser leur pénétration en modérant la taille des batteries pour réduire la tension sur les ressources minérales et limiter les coûts (disposer de 2 batteries de 50 kWh, plutôt que d'une seule batterie de 100 kWh, permet de mettre 2 VEB sur la route au lieu d'1, avec une autonomie qui reste en adéquation avec les usages actuels) ;
- Accompagner leur diffusion d'un développement plus adapté des infrastructures de recharge et des services analogues comme la recharge mobile (bas carbone) à la demande.

# ZOOM SUR LES VÉHICULES « ZÉRO ÉMISSION »

Outre leur impact climatique, les véhicules particuliers sont aussi confrontés à deux autres enjeux sanitaires de taille, la pollution locale de l'air et les nuisances sonores. Les motorisations électriques (VEB, VEH), que l'on qualifie de « zéro émission », répondent en grande partie<sup>6</sup> à ces problématiques, lorsqu'elles se substituent à des motorisations thermiques (véhicules à essence/diesel, et au gaz naturel/biométhane).

**En ce qui concerne l'impact climatique cependant, l'expression « zéro émission » est trompeuse et doit bien être comprise comme « zéro émission à l'échappement ».** En effet, la vision en cycle de vie montre bien que l'usage de ces véhicules génère des émissions de GES importantes, même si souvent inférieures à celles produites par les véhicules thermiques.

Le cas de l'hydrogène utilisé dans un VEH est le plus complexe, car il peut être produit de deux manières différentes (par électrolyse et par vaporeformage), et dans des pays aux caractéristiques électriques différentes qui plus est.



Pour un VTH roulant au GNC réseau (4% de biométhane), l'empreinte carbone est quasiment identique pour l'UE et pour la France (variation <1gCO<sub>2</sub>e/100km due à la légère différence du facteur d'émissions du biométhane).



**Figure 3 – Comparaison de l'empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un véhicule de type segment D vendu en 2020, en France et en Europe | gCO<sub>2</sub>e/km**

En dehors des frontières de l'Hexagone, produire de l'hydrogène à partir du mix électrique moyen de l'UE est à proscrire pendant encore de nombreuses années, à cause des émissions en cycle de vie plus élevées que les VTH conventionnels.

Concernant les véhicules « zéro émission » dans leur ensemble, si le mix électrique européen moyen disqualifie l'électrolyse et si le vaporeformage de gaz naturel fossile reste très émetteur, **le vaporeformage de biométhane, l'électrolyse peu carbonée et la technologie batterie sont des solutions réellement décarbonantes.** Elles permettent de réduire l'empreinte carbone de 60-70% par rapport au véhicule diesel (**Figure 3**).

6. Il subsiste une pollution de l'air pour tous les véhicules, liée à l'usure des pneus et des freins, même si celle-ci est moindre pour les motorisations électriques.

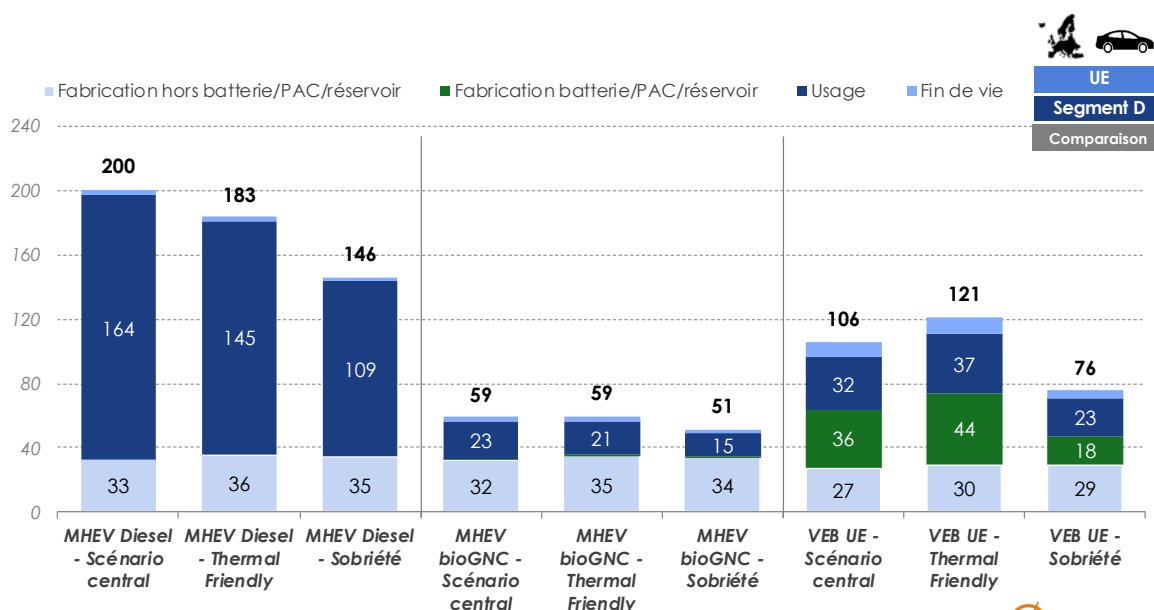
# Y A-T-IL ENCORE UNE VOIE POUR LES VÉHICULES THERMIQUES ?

Dans une vision prospective, les hypothèses utilisées dans le scénario central sont par nature sujettes à discussion, et il est légitime de se demander dans quel cadre ces conclusions restent valables. Deux autres scénarios bâtis sur des jeux d'hypothèses différents ont ainsi été élaborés : l'un plus favorable aux motorisations thermiques, l'autre allant dans le sens de plus de sobriété.

“**Même dans un scénario favorable aux véhicules thermiques, le véhicule électrique reste moins émissif.**”

Tout d'abord, la vision prospective en 2030 diminue les écarts d'émissions entre les motorisations, sans pour autant changer les conclusions déjà visibles en 2020 (cf. Figure 4). L'hybridation légère des véhicules thermiques permet de rattraper une partie du retard sur les VEB, ces derniers s'améliorant plus lentement du fait de la hausse de capacité des batteries qui contrecarre la décarbonation progressive du mix électrique, mais cela reste faible.

Par ailleurs, **même dans un scénario favorable au véhicule thermique**, dans lequel nous avons délibérément opté pour des hypothèses plus optimistes pour le VTH et plus pessimistes pour le VEB (cf. détail des hypothèse dans la publication détaillée), **il n'y a pas d'inversion de la hiérarchie : quel que soit le type de véhicule, le VEB reste moins émissif que le VTH** en cycle de vie de l'ordre de -35% en moyenne UE, et -50% pour la France<sup>7</sup>, que ce dernier soit alimenté par des carburants pétroliers ou du gaz fossile.



Sources : Analyses Carbone 4



Figure 4 – Comparaison de l’empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d’un véhicule de type segment D vendu en 2030 en Europe | gCO<sub>2</sub>e/km

7. Non visible sur le graphique.

# LA TECHNOLOGIE N'EST PAS LE SEUL LEVIER

Du point de vue des émissions de GES, l'électrification par batteries semble donc la voie la plus pertinente vers des véhicules particuliers bas carbone.

Pour autant, **la sobriété d'usage, au sens large, est un levier indispensable**. La **Figure 4** montre que **des gains supplémentaires de l'ordre de 25%, toutes motorisations confondues, peuvent être obtenus sans révolution technologique**, en adoptant simplement des hypothèses allant dans le sens de la sobriété (réduction des masses, prolongement de la durée de vie, arrêt de la course à la capacité des batteries). Par exemple, du point de vue carbone, un VEB de forte puissance emportant un pack batterie de 90 kWh ou plus (ex : SUV Type Audi e-tron) peut générer dans un pays comme l'Allemagne (plus grand marché automobile européen) des **émissions en cycle de vie comparables, voire supérieures à un VTH de plus petite taille**. De surcroît, même si leur production est plus intensive en CO<sub>2</sub>, les matériaux plus légers que l'acier (tels qu'aluminium, plastiques, fibre de carbone) favorisent globalement la réduction des émissions des véhicules thermiques. Par exemple, avec une substitution de l'acier par 50% aluminium - 50% plastiques, le gain net est d'environ 10 gCO<sub>2</sub>e/km (soit -4%) en cycle de vie, pour 200 kg de masse en moins, sur un segment D.

A l'aune de notre analyse, **nous recommandons donc aux autorités publiques de reconsidérer les « règles du jeu » sur la mesure des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules neufs en Europe** (en considérant le cycle de vie), pour éviter que les règles supposément incitatives ne soient contre-productives dans bien des cas, **et inciter à la sobriété d'usage avec des règles basées sur la masse des véhicules et la capacité des batteries**.

Enfin, **il est crucial de rappeler que la technologie seule ne permettra pas de réduire suffisamment nos émissions** dans les prochaines décennies. 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), aussi bien pour les personnes que les marchandises
- Mieux partager les véhicules particuliers (lutte contre l'auto-solisme), quels qu'ils soient
- Favoriser le report modal autant que possible, vers les modes actifs et les transports collectifs plus sobres en carbone, 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 bien davantage sur **les facteurs en faveur ou en défaveur** de chacune des alternatives, des **focus détaillés** sur certains vecteurs énergétiques (biocarburants liquides, biométhane, hydrogène), des **analyses de sensibilité** (notamment sur masse vs empreinte carbone des matériaux). Et bien entendu toutes les **sources et hypothèses** employées.

A noter que ces travaux couvrent aussi le cas des **véhicules professionnels** (véhicules utilitaires, autobus, poids lourds) 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](mailto:mobilite@carbone4.com)