

# BAROMÈTRE DE LA DÉCARBONATION

COMMENT DÉCARBONER EN PROFONDEUR ET SANS TARDER LE BÂTIMENT, LES TRANSPORTS ET L'INDUSTRIE ?

---

Novembre 2018

---

**Aida Tazi**

aida.tazi@carbone4.com

**Justine Mossé**

justine.mosse@carbone4.com

**Aurélien Schuller**

aurelien.schuller@carbone4.com

**Sébastien Timsit**

sebastien.timsit@carbone4.com

**Quelles sont les mesures** à mettre en place pour décarboner efficacement notre économie ?

**Quels potentiels de réduction** des émissions de gaz à effet de serre ces mesures offrent-elles ?

**Quelle est la pertinence économique** de ces mesures d'un point de vue de la collectivité ?

Pour lutter contre le changement climatique, la France a décidé de parvenir à un équilibre de neutralité carbone d'ici 2050. Cet objectif, annoncé par le Plan Climat du gouvernement en 2017, implique de diviser par 9 le niveau actuel des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Pourtant, les émissions françaises sont en hausse et dépassent les plafonds annuels prévus par la Stratégie Nationale Bas Carbone. Après seulement deux ans d'application de la Stratégie, on enregistre déjà un retard d'un an et demi.

Malgré les intentions de la politique publique, force est de constater que la mise en œuvre de la transition énergétique est en décalage avec l'ambition climatique. Il est aujourd'hui urgent de réorienter les efforts vers les mesures de réduction des émissions qui sont obligatoires pour atteindre les objectifs nationaux.

# SYNTHÈSE

## LES MESSAGES CLÉS DE L'ÉTUDE

### COMMENT RÉORIENTER LES EFFORTS VERS DES MESURES DE DÉCARBONATION PERTINENTES ?

Malgré les bonnes intentions de la politique climatique française, la mise en œuvre de la transition énergétique est fortement en décalage avec l'ambition. En plein débat sur les versions actualisées de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie et de la Stratégie Nationale Bas Carbone, Carbone 4 a souhaité verser au débat public des éléments sur quelques mesures incontournables de décarbonation dans les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie. Ces trois secteurs représentent à eux seuls près de 60% des émissions de gaz à effet de serre de la France.

Les mesures ont été évaluées à l'aune de **deux indicateurs principaux** :

1. **Le potentiel de réduction des émissions de GES**, évalué en millions de tonnes de CO<sub>2</sub>-équivalent<sup>1</sup> par an
2. **La pertinence économique des mesures du point de vue de la collectivité**, en € HT par tonne de CO<sub>2</sub>e évitée par rapport à une situation de référence conventionnelle.

Ces indicateurs ont permis de mettre en lumière des mesures prioritaires. Elles ont en commun un fort potentiel de réduction des émissions et un coût social acceptable.

Pour enrayer toute dérive par rapport aux ambitions climat de la France et pour produire des résultats tangibles avant la fin du quinquennat, ces mesures doivent être mises en œuvre dès à présent.

### LES MESURES INCONTOURNABLES DANS LE BÂTIMENT, LES TRANSPORTS ET L'INDUSTRIE

**Dans le bâtiment, la mise en place d'un bouquet de travaux dans les logements énergivores apparaît indispensable. Les travaux de rénovation envisagés associent isolation thermique de l'enveloppe et substitution de l'équipement de chauffage à énergie fossile, en fin de vie, par un équipement plus efficace, utilisant de l'énergie à faible teneur en carbone.** Il peut s'agir d'une pompe à chaleur air/eau ou d'une chaudière bois pour les logements à chauffage individuel, et d'un raccordement à un réseau de chaleur pour les logements à chauffage collectif.

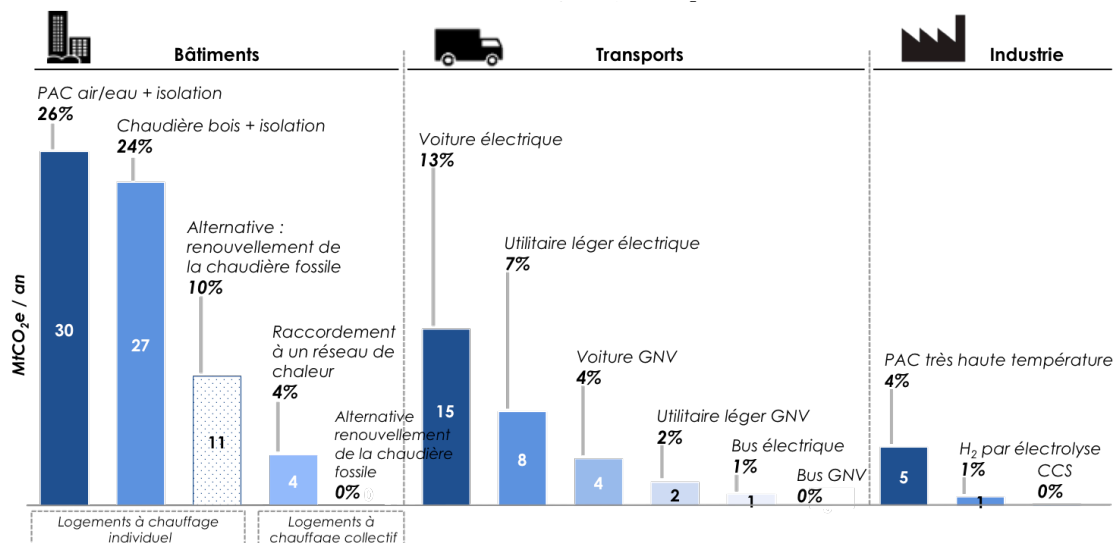
**Dans les transports, l'électrification des véhicules semble être une mesure incontournable si la France souhaite donner corps aux objectifs climatiques qu'elle s'est fixés.** Le faible contenu carbone de l'électricité française rend cette mesure tout à fait pertinente, et ce en tenant compte des émissions de cycle de vie des batteries. Il faut cependant noter que le déploiement de l'électrification ne pourra pas avoir lieu du jour au lendemain : elle devra s'accompagner d'une organisation de l'espace urbain qui permette d'accroître la place pour les mobilités piétonnes, actives et en commun.

Enfin **dans l'industrie**, qui est souvent présentée comme un secteur où il est difficile de réduire les émissions de GES, l'analyse montre que **la substitution du chauffage à combustible fossile par des pompes à chaleur très haute température est une solution sans regret.** Cette solution, adaptée aux sites industriels dont le besoin de chaleur est inférieur à 130°C permet, en plus de réduire de façon significative les émissions de GES du secteur, d'économiser sur les factures énergétiques.

<sup>1</sup> Le CO<sub>2</sub>e ou CO<sub>2</sub>-équivalent est une unité qui permet de convertir les différents gaz à effet de serre en dioxyde de carbone, en fonction de leur pouvoir de réchauffement c'est-à-dire de leur contribution au réchauffement de la Terre. Le CO<sub>2</sub> sert de référence car il s'agit du principal gaz à effet de serre émis par les activités humaines.

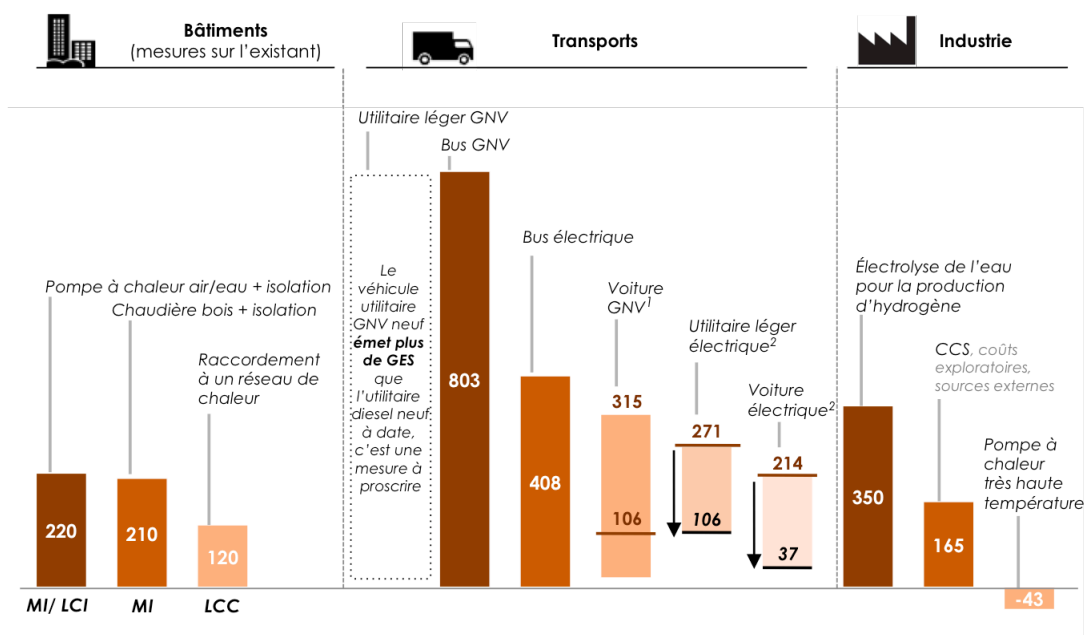
**Figure 1. Contribution des mesures à l'atteinte de l'objectif climat 2030 de la France<sup>2</sup>**

Unités : % d'atteinte de l'objectif | Mt CO<sub>2</sub>e/an réduites



**Figure 2. Coûts d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée associés aux mesures, pour un investissement en 2018**

Unité : € HT / tCO<sub>2</sub>e évitée



Acronymes utilisés : MI = maison individuelle, LCI = logement collectif à chauffage individuel, LCC = logement collectif à chauffage collectif

<sup>1</sup> Le coût d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée par l'acquisition d'une voiture personnelle neuve fonctionnant au GNV plutôt qu'une voiture thermique est très sensible à la consommation unitaire du véhicule. Une oscillation de +/-10% autour de la consommation unitaire de référence, reprise du NGVA (Natural and bio Gas Vehicle Association) fait varier le coût d'abattement de la voiture GNV de 20 à 315 € HT / tCO<sub>2</sub>e évitée, pour une valeur centrale à 106 € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée.

<sup>2</sup> Les coûts d'abattement associés à la voiture électrique et au véhicule utilitaire léger électrique sont à 214 et 271 € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée aujourd'hui. Avec la chute attendue du coût des batteries dans les prochaines années, ces valeurs devraient passer respectivement à 37 et 106 € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée en 2025.

<sup>2</sup> L'objectif climat 2030 de la France, tel qu'annoncé par la loi de transition énergétique de 2015, correspond à une baisse de 40% des émissions de GES par rapport au niveau de 1990. La cible de neutralité carbone en 2050, énoncée par le Plan Climat de 2017, ne peut qu'impliquer une réduction supérieure à 40% en 2030.

Remarque : les potentiels de réduction des émissions pour les mesures portant sur le même gisement physique ne sont pas sommables (exemples : mêmes typologies de logements, mêmes typologies de véhicules).

La figure 1 révèle que la mise en place de ces mesures permettrait de couvrir plus de 50% de l'objectif de réduction des émissions de GES de la France à horizon 2030.

Les mesures préconisées ont des coûts d'abattement compris entre -40 et 270 € HT/tCO<sub>2</sub>e, soit des valeurs socialement acceptables, **compatibles avec les valeurs tutélaires du carbone à paraître pour l'horizon 2030, qui est un horizon de plein effet des mesures ici étudiées**<sup>3</sup>.

La figure 1 montre que **rester inactif ou mettre en place des mesures moins ambitieuses conduirait la Stratégie Nationale Bas Carbone vers un échec certain**. Ainsi dans le bâtiment, se contenter de renouveler sa chaudière gaz en fin de vie limite la réduction des émissions de gaz à effet de serre nationales à un tiers seulement du gisement de réduction qu'offre un bouquet de travaux associant isolation thermique et transfert d'une énergie fossile vers une énergie décarbonée.

**rester inactif ou mettre en place des mesures moins ambitieuses conduirait la Stratégie Nationale Bas Carbone vers un échec certain.**

Dans les transports, miser sur des mesures moins ambitieuses sur le plan climatique, comme le GNV plutôt que l'électricité, restreindrait la baisse des émissions de GES à un quart seulement du potentiel disponible (6 MtCO<sub>2</sub>e vs. 24 MtCO<sub>2</sub>e sur le périmètre voiture, utilitaire léger et bus). À court terme la mobilité au gaz naturel participe de manière insuffisante à la décarbonation du secteur, notamment parce que le contenu « bio » (non-fossile) du gaz de réseau reste limité à ce stade<sup>4</sup>. Cela tient au simple fait que les émissions de CO<sub>2</sub> d'un véhicule GNV restent du même ordre que son homologue à carburant liquide, pour un coût toutefois supérieur.

Notons enfin que **les mesures retenues dans les trois secteurs permettraient à la France d'économiser près de 7 milliards d'euros**, aujourd'hui utilisés pour importer de l'énergie fossile. Ces économies pourraient servir à mettre en place les mesures d'atténuation pertinentes tout en participant à la création nette d'environ 140 000 emplois.

<sup>3</sup> Début 2018, la Commission Quinet a été chargée de mettre en conformité la trajectoire existante de la valeur tutélaire du carbone avec l'objectif 2050 de neutralité. Ce travail donnera lieu à des valeurs rehaussées (la valeur du carbone pour l'année 2030 est prévue à plus de 200 €/tCO<sub>2</sub>e) ce qui rendra possible des investissements supplémentaires dans la réduction des émissions. Rappelons que la valeur tutélaire du carbone est un signal économique fixé par l'État, qui donne une valeur monétaire aux émissions de gaz à effet de serre. Son niveau doit être suffisant pour déclencher les investissements nécessaires à l'atteinte des objectifs publics de décarbonation.

<sup>4</sup> Le mix du gaz de réseau évolue dans le temps, jusqu'à inclure 10% de biogaz en 2030, conformément aux objectifs publics.

# TABLE DES MATIÈRES

---

## LES MESSAGES CLÉS DE L'ÉTUDE

2

### 1

## DÉMARCHE DE CARBONE 4

6

### 2

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS LE BÂTIMENT

7

### 3

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS LES TRANSPORTS

9

### 4

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS L'INDUSTRIE

12

# 1

## DÉMARCHE DE CARBONE 4

Au total, Carbone 4 a analysé une dizaine de mesures d'atténuation. Pour chacune, trois indicateurs ont été évalués<sup>5</sup> :

### Le potentiel de réduction des émissions

| Mt CO<sub>2</sub>e/an |

- Il s'agit du volume d'émissions de GES pouvant être réduit par la mise en place de la mesure par rapport à la situation actuelle.
- Cet indicateur permet d'évaluer le **potentiel de contribution de la mesure aux objectifs de réduction d'émissions** de GES nationaux.

### Le coût socio-économique d'une tCO<sub>2</sub>e évitée

| € HT/tCO<sub>2</sub>e |

- Il s'agit du coût de mise en œuvre de la mesure par tonne de CO<sub>2</sub>e évitée par rapport une situation de référence conventionnelle. Par exemple, l'acquisition d'une voiture électrique neuve a été évaluée par rapport à une voiture thermique neuve.
- Cet indicateur permet de mesurer l'**efficacité de chaque euro investi pour la transition énergétique**.

### Le solde importateur d'hydrocarbures

| Md€ HT/an |

- Il s'agit du montant économisé par l'économie française grâce à la substitution d'énergies fossiles importées par de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie produites en France.
- Cet indicateur permet d'**évaluer l'impact des mesures sur l'économie française**.

À noter que les coûts socio-économiques calculés ne reflètent pas le coût ressenti par le ménage, qui inclut notamment taxes et aides publiques. Ainsi une mesure qui ressort coûteuse dans l'analyse peut être rentable du point de vue du ménage.

<sup>5</sup>Pour l'indicateur « coût socio-économique d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée », l'évaluation des mesures a été effectuée du point de vue du décideur public, hors taxes ou subventions, afin d'évaluer leur coût intrinsèque pour la société. Les investissements correspondent aux valeurs 2018. Les évolutions des mix énergétiques et des prix des énergies ont été prises en compte sur la durée de vie des mesures, en cohérence avec les objectifs de la France à date. Les coûts variables (OPEX) ont été actualisés à hauteur de 4,5%/an.



# 2

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS LE BÂTIMENT

Le bâtiment **contribue à hauteur de 20%** aux émissions nationales de gaz à effet de serre. Il a une place capitale dans les engagements de réduction d'émissions de la France. Les objectifs publics en la matière sont d'ailleurs ambitieux : la Stratégie Nationale Bas Carbone prévoit une **baisse de 50% des émissions de GES du secteur à horizon 2030**.

Il est aujourd'hui bien compris que les émissions de GES des bâtiments **sont surtout le fait de ceux qui sont déjà construits**, et notamment des 8 millions de logements énergivores connus sous le terme de « passoires énergétiques », chauffés en grande majorité aux combustibles fossiles.

L'analyse Carbone 4 révèle que la mise en place de travaux dans ces logements, associant isolation des murs et substitution du chauffage fossile en fin de vie par une énergie bas carbone, **permettrait de contribuer à hauteur de 30% à l'atteinte de l'objectif 2030 de la France** (voir figure 3). D'ici 2030, cela correspond à un rythme de rénovation de 650 000 logements par an. Notons que depuis 2017 la France vise un rythme de rénovation de 500 000 logements par an ; aujourd'hui le nombre de rénovations de passoires thermiques est de moins de 300 000 par an. Il est donc primordial que le secteur redouble d'efforts.

**Continuer sur la voie actuelle de l'inaction en se contentant de renouveler sa chaudière fossile en fin de vie diviserait le volume de réduction d'émissions par trois.** Ce résultat est illustré par la figure 3.

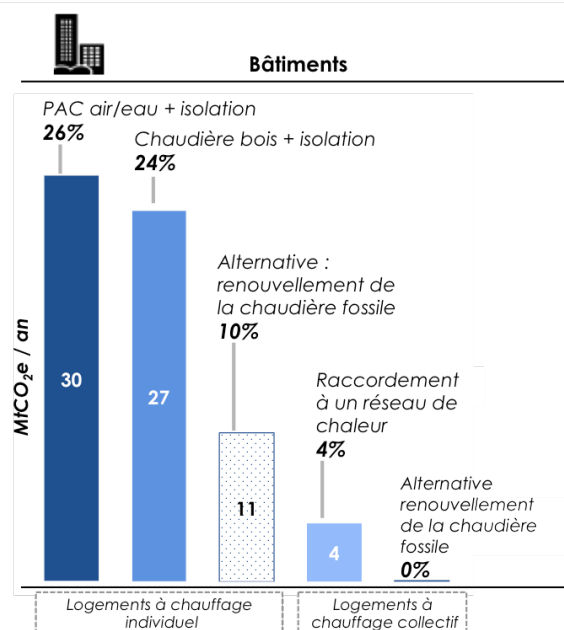
**A contrario, un choix plus actif, avec rénovation du bâti et changement de l'énergie de chauffage, constitue un levier de décarbonation puissant (également illustré dans la figure 3), dont les effets se doublent d'une réduction de la dépendance nationale aux importations d'hydrocarbures**

**à hauteur de 2 Mds€ par an** pour le gisement physique des 8 millions de logements énergivores<sup>6</sup>.

Le coût de la tonne de CO<sub>2</sub>e évitée<sup>7</sup> par de tels gestes est compétitif au regard des objectifs carbone de la politique publique, et doit permettre la **mise en place d'incitations suffisantes pour les ménages**.

Les principaux résultats et conclusions sont présentés dans l'encadré et sur les figures 3 et 4 ci-dessous.

**Figure 3. Contribution des mesures bâtiment à l'atteinte de l'objectif climat 2030**  
Unités : % d'atteinte de l'objectif | Mt CO<sub>2</sub>e/an réduites

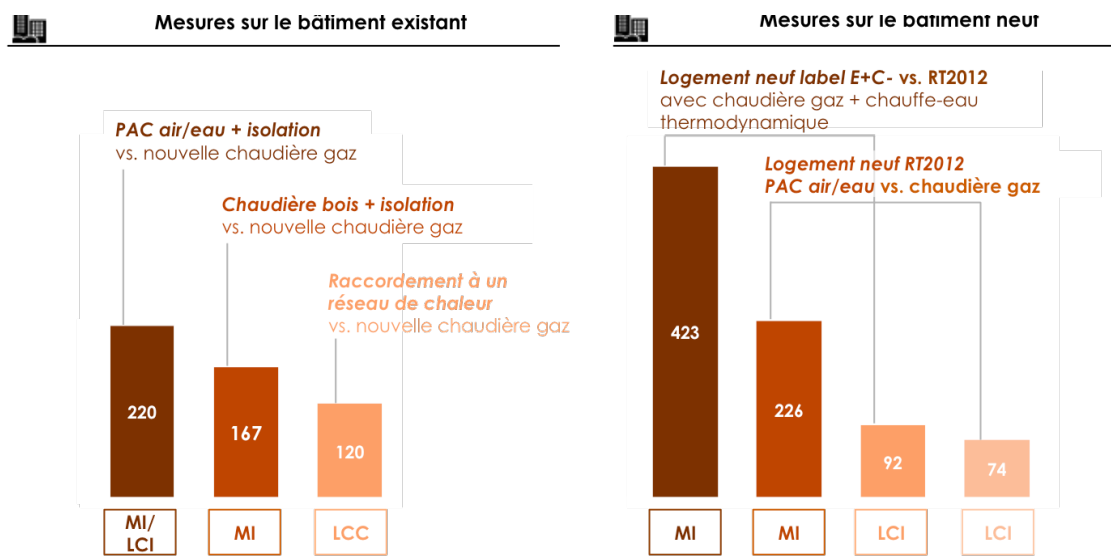


<sup>6</sup> Le gisement physique pour le secteur du bâtiment est composé des 8 millions de logements énergivores, dont le diagnostic de performance énergétique (DPE) est E, F ou G.

<sup>7</sup> Les euros dépensés pour éviter une tonne de GES ont été étudiés par rapport à une situation de référence, conventionnelle. Dans le cas du bâtiment existant, l'objet d'étude est un logement énergivore chauffé au gaz, pour lequel le geste de référence est le renouvellement de la chaudière gaz en fin de vie.

**Figure 4. Coûts d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée pour les mesures dans le bâtiment, pour un investissement en 2018**

Unité : € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée



Rappel sur les acronymes utilisés pour le secteur du bâtiment :  
 PAC = pompe à chaleur,  
 MI = maison individuelle,  
 LCI = logement collectif à chauffage individuel,  
 LCC = logement collectif à chauffage collectif

### 3 conclusions clés pour le bâtiment :

**Les mesures dans le bâtiment existant permettent une décarbonation profonde et sont relativement peu coûteuses**

- Les bouquets de travaux étudiés (installation d'une pompe à chaleur air/eau, chaudière bois ou raccordement à un réseau de chaleur et isolation des murs) permettent d'éliminer près de 35 MtCO<sub>2</sub>e/an, soit 30% des efforts à fournir pour atteindre l'objectif 2030 de la Stratégie Nationale Bas Carbone.
- Par rapport au renouvellement de la chaudière gaz, le surcoût moyen de ces bouquets de travaux est compris entre 120 et 220 € HT par tonne de CO<sub>2</sub>e évitée. Cette gamme de coûts est acceptable si on tient compte de la hausse attendue de la valeur tutélaire du carbone.

**Il est impératif de consacrer des efforts à la rénovation des bâtiments existants, en complément de l'amélioration de la performance des bâtiments neufs**

- Pour les maisons individuelles, la rénovation de l'existant permet de réduire près de 2 fois plus d'émissions par euro investi que le renforcement de la performance du neuf (passage de la RT2012 au label E+C- qui pose les fondements de la future RE2020).

**Dans le bâtiment neuf, mieux vaut choisir une énergie de chauffage décarbonée que d'opter pour une isolation renforcée**

- Le montant à investir pour éviter une tonne d'émissions de GES est deux fois plus faible lorsqu'on construit en conservant la norme actuelle (RT2012) et en installant une pompe à chaleur air/eau à la place d'une chaudière gaz, plutôt qu'en construisant avec une norme renforcée (label E+C-) en conservant le gaz comme principale source de chauffage.



# 3

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS LES TRANSPORTS

Le secteur des transports est **le seul secteur en France qui n'a pas réduit ses émissions de CO<sub>2</sub> depuis 1990**. Largement dominé par la consommation de produits pétroliers, il représente à lui seul près de **30% des émissions de gaz à effet de serre du pays**, soit 134 MtCO<sub>2</sub>e en 2016.

Bien que les objectifs publics soient ambitieux (une baisse de 40% des émissions du secteur est prévue entre aujourd'hui et 2030), les moyens de la politique publique se concentrent principalement sur l'aide à l'achat de véhicules moins émissifs (via par exemple le bonus-malus) d'une part, et d'autre part sur l'encadrement des émissions des voitures neuves, dispositif européen dont la fiabilité laisse à désirer (le scandale du Dieselgate ayant récemment rappelé que les émissions de CO<sub>2</sub> en conditions réelles de circulation peuvent dépasser de 30% à 40% les émissions mesurées sur banc d'essai).

Si les véhicules thermiques neufs sont ainsi incités à faire des efforts de réduction de leurs externalités environnementales, les améliorations se diffusent très lentement dans le parc circulant, à un rythme insuffisant pour permettre d'atteindre l'objectif climat du secteur. Pour cette raison, **l'exécutif a décidé en 2017 de mettre fin à la vente de voitures émettant des gaz à effet de serre (principalement diesel et essence) en 2040<sup>8</sup>** afin d'inciter plus fortement à un développement des motorisations alternatives.

Parmi les solutions de remplacement, les motorisations électrique et GNV (Gaz Naturel pour Véhicules) sont fréquemment évoquées. La question qui se pose est alors : **quelle quantité d'émissions peut-on espérer réduire et à quel prix si on basculait aujourd'hui vers une mobilité électrique ou GNV ?**

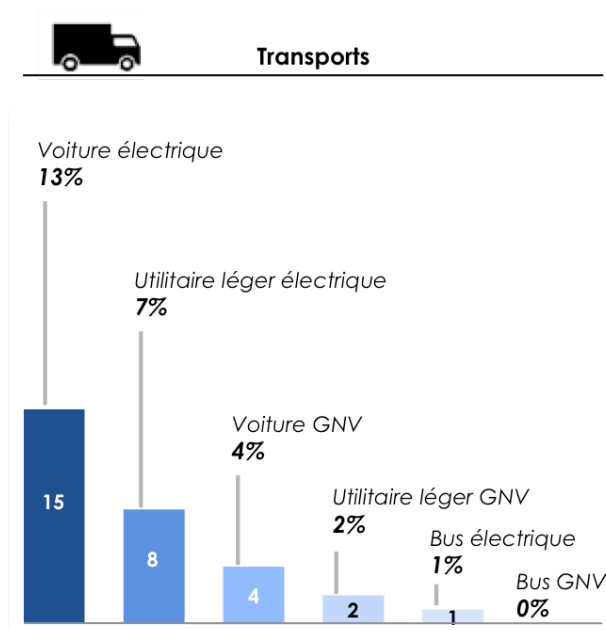
Carbone 4 a étudié deux indicateurs : *le potentiel de réduction d'émissions* et *le coût d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée* pour ces deux types de mobilité et pour trois catégories de véhicules : les voitures, les véhicules utilitaires légers et les autobus. Les potentiels de réduction d'émissions ont été calculés par rapport au parc moyen actuel, en considérant un scénario type<sup>9</sup> de conversion d'une portion du parc thermique à l'électrique ou au GNV. Le coût des mesures par tonne de CO<sub>2</sub>e évitée compare quant à lui l'acquisition d'un véhicule électrique ou GNV neuf par rapport à un véhicule thermique neuf. Les principales conclusions sont illustrées par les figures 5 et 6 et les encadrés ci-après.

**Le secteur des transports est le seul secteur en France qui n'a pas réduit ses émissions de CO<sub>2</sub> depuis 1990**

<sup>8</sup> Cette disposition figure dans le Plan Climat du gouvernement annoncé en juillet 2017.

<sup>9</sup> Des scénarios de déploiement des véhicules alternatifs dans le parc circulant ont été réalisés. Les résultats sont similaires aux prévisions RTE et aux projections nationales annoncées par la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie et la Stratégie Nationale Bas Carbone : 20% du parc de voitures pourrait être autre que thermique en 2030 (~6M de voitures), 25% du parc d'utilitaires légers, 80% du parc de bus.

**Figure 5. Contribution des mesures transport à l'atteinte de l'objectif climat 2030**  
Unités : % d'atteinte de l'objectif | Mt CO<sub>2</sub>e/an réduites



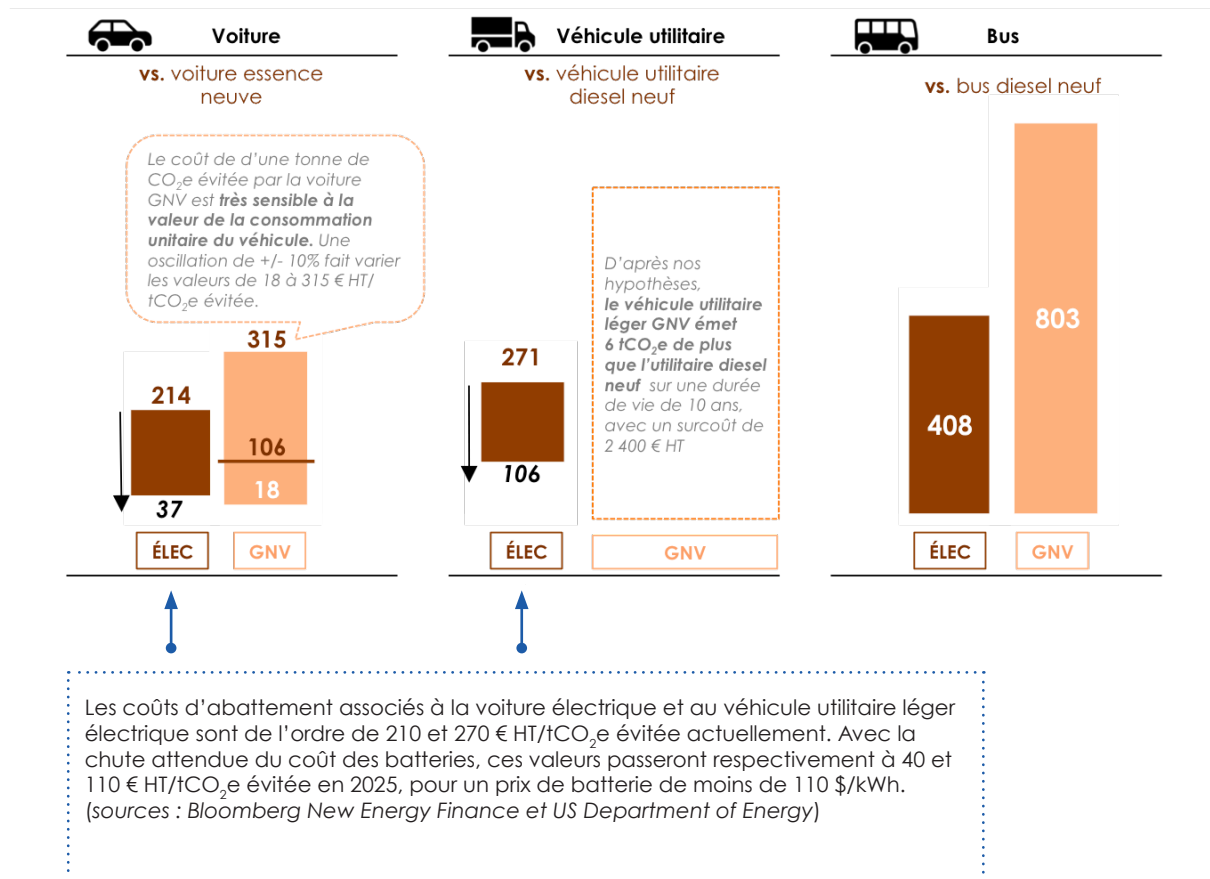
#### Conclusions sur les potentiels de réduction d'émissions des mesures transport :

- L'électrification d'une portion (voir note 10) du parc de véhicules à horizon 2030 permettrait d'économiser 24 MtCO<sub>2</sub>e /an et contribuerait ainsi à hauteur de 20% à l'atteinte de l'objectif 2030 de la Stratégie Nationale Bas Carbone.
- À l'inverse, la conversion au GNV d'une portion identique du parc circulant limiterait la baisse des émissions nationales à 6 MtCO<sub>2</sub>e /an, soit moins de 6% de l'objectif de la Stratégie Nationale Bas Carbone à horizon 2030.
- La figure 5 l'illustre : la mobilité électrique permet d'éliminer 4 fois plus d'émissions de GES que la mobilité GNV.

**la mobilité électrique permet d'éliminer 4 fois plus d'émissions de GES que la mobilité GNV.**

**Figure 6. Coûts d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée pour les mesures transport, pour un investissement en 2018**

Unité : € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée



### Conclusions sur l'efficacité économique des mesures transport :

#### Le choix de l'électrique s'impose :

- Dans le cas des véhicules utilitaires légers, l'utilitaire GNV ne produit pas l'effet escompté puisqu'il émet plus de gaz à effet de serre sur sa durée de vie qu'un utilitaire diesel neuf, cette mesure est donc à proscrire. Seule la motorisation électrique permet d'éviter des émissions.
- Pour les bus, le coût d'évitement d'une tonne de GES par rapport au bus diesel neuf est de 800 € HT/tCO<sub>2</sub>e pour le bus GNV.

Ce montant est divisé par deux pour le bus électrique. Le choix de l'électrique apparaît donc évident, d'autant plus que cette motorisation évite, sur les 15 ans de vie du véhicule, 10 fois plus d'émissions que le bus GNV.

- Concernant la voiture, le véhicule électrique évite sur sa durée de vie près de 4 fois plus d'émissions que la voiture GNV. De plus, la baisse du prix des batteries attendue dans les prochaines années permettra de diviser par 8 le coût d'abattement actuel, le faisant passer à 40 € HT/tCO<sub>2</sub>e évité.

# 4

## ANALYSE DE MESURES DE DÉCARBONATION DANS L'INDUSTRIE

L'industrie est souvent présentée avec l'agriculture comme le poste d'émissions incompressible du bilan carbone national. Mais il y a bien quelques gestes qui pourraient être mis en place pour réduire les émissions du secteur, qui représentait tout de même **18% des émissions françaises en 2016**.

Carbone 4 s'est penché sur **trois gestes** pour l'industrie afin de comprendre leurs niveaux de pertinence. Ces mesures sont :

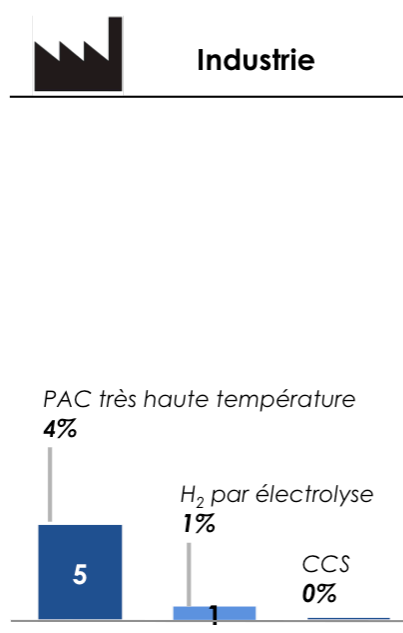
1. L'installation d'une **pompe à chaleur très haute température** à la place d'une chaudière fossile pour les industries consommatrices de chaleur ;
2. La production d'**hydrogène par électrolyse de l'eau**, à la place d'hydrogène produit par vaporeformage du méthane (c'est-à-dire du gaz

naturel) ;

3. La **capture et la séquestration du CO<sub>2</sub> des fumées industrielles** (communément appelé CCS, pour « Carbon Capture and Storage ») pour éviter qu'il ne s'échappe dans l'atmosphère.

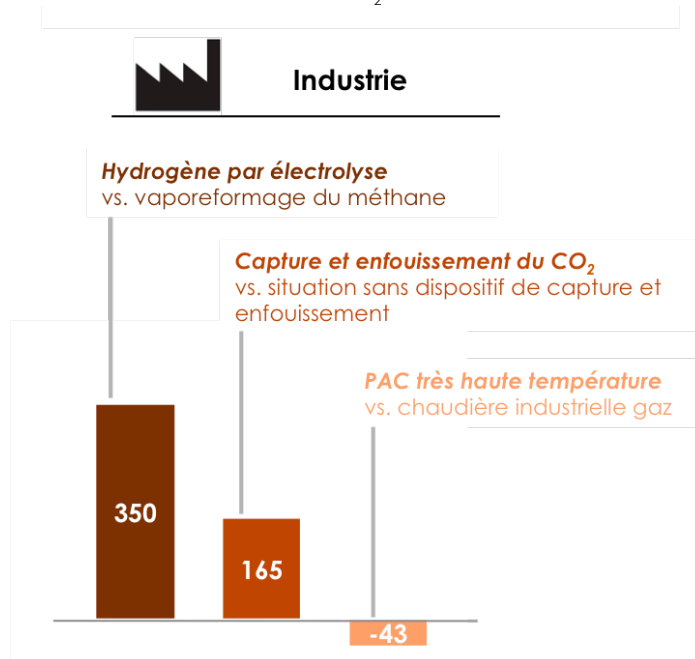
Les potentiels de réduction d'émissions et les coûts associés ont été évalués par comparaison avec les modes de production de chaleur et d'hydrogène qui prévalent actuellement dans le monde industriel et en supposant une pénétration à court-terme réaliste pour chaque mesure<sup>10</sup>. Pour la capture et le stockage du CO<sub>2</sub>, le coût présenté dans cette note n'a pas été calculé par Carbone 4, il s'agit d'une valeur publiée par la *Global CCS Institute* pour l'industrie sidérurgique.

**Figure 7. Contribution des mesures à l'atteinte de l'objectif climat 2030**  
Unités : % d'atteinte de l'objectif | Mt CO<sub>2</sub>e/an réduites



<sup>10</sup> Pour l'hydrogène produit à partir d'électrolyse, Carbone 4 a supposé une pénétration à hauteur de 10% du marché français, ce qui correspond à la création de petites unités, à proximité de sites qui consomment des quantités relativement faibles d'hydrogène. Pour la pompe à chaleur très haute température, seules les consommations de chaleur inférieures à 130°C ont été prises en compte car cela correspond aux températures maximales que la pompe puisse fournir. Quant à la capture et au stockage du CO<sub>2</sub>, son potentiel 2030 a été extrapolé à partir des objectifs publics (15 MtCO<sub>2</sub>e en 2050).

Figure 8. Coûts d'une tonne de CO<sub>2</sub>e évitée pour les mesures industrie, pour un investissement en 2018  
Unité : € HT/tCO<sub>2</sub>e évitée



#### Conclusions sur les potentiels de réduction des mesures industrie :

- La pompe à chaleur très haute température présente un gisement de réduction d'émissions intéressant de 5 MtCO<sub>2</sub>e/an. Celui-ci est restreint principalement aux industries agroalimentaires du fait du niveau de température maximale que cette technologie peut atteindre (~130°C).
- Les mesures de production d'H<sub>2</sub> par électrolyse et d'installation de dispositifs de capture et séquestration du CO<sub>2</sub> ont quant à elles des gisements de réduction d'émissions très marginaux, inférieure à 1MtCO<sub>2</sub>e /an.

#### Conclusions sur l'efficacité économique des mesures industrie :

- La pompe à chaleur très haute température apparaît être la mesure la plus pertinente des trois gestes étudiés : elle est économiquement rentable par rapport à une chaudière industrielle à combustible fossile tout en permettant de réduire les émissions de GES.
- Concernant les coûts de la capture et de séquestration du CO<sub>2</sub>, ces derniers sont encore largement exploratoires, avec une forte marge d'erreur. En effet, très peu de projets de ce type sont opérationnels à date.



Fondé en 2007 par Alain Grandjean et Jean-Marc Jancovici, rejoints en 2017 par un dirigeant de grandes entreprises, Laurent Morel, Carbone 4 est un cabinet de conseil indépendant, leader de la stratégie climat, de la transition énergétique et de l'adaptation au changement climatique.

Notre équipe accompagne les entreprises dans la transition vers une économie bas carbone et résiliente au changement climatique.

