

# Les coûts d'abattement

## Partie 2 – Transports

Rapport de la commission présidée par  
**Patrick Criqui**





# LES COÛTS D'ABATTEMENT

---

## Partie 2 – Transports

Rapport de la commission  
présidée par **Patrick Criqui**

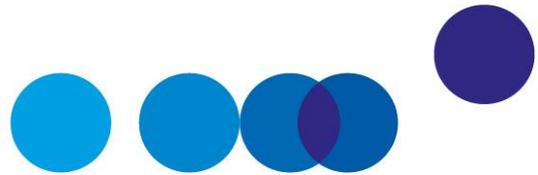
Rapporteurs

Stéphane Crémel, Direction générale du Trésor

Bérengère Mesqui, France Stratégie







## PRÉSENTATION

---

Suite à la signature de l'Accord de Paris en 2015, la France s'est engagée à atteindre la neutralité carbone à horizon 2050. La Stratégie nationale bas carbone (SNBC), révisée tous les cinq ans, constitue la feuille de route française pour lutter contre le changement climatique : elle détaille les actions à mettre en œuvre dans chaque secteur. Le présent travail vise à fournir des outils méthodologiques dans la perspective de l'élaboration de la troisième SNBC.

Les coûts d'abattement des différentes solutions de décarbonation, c'est-à-dire leur coût rapporté aux émissions évitées, sont en effet une donnée essentielle pour l'élaboration d'une stratégie climat efficace. Le recours au coût d'abattement socioéconomique permet de hiérarchiser les actions de décarbonation et d'identifier celles susceptibles de maximiser les réductions effectives d'émissions de gaz à effet de serre, à niveau d'effort donné pour la collectivité. La comparaison du coût d'abattement à la valeur de l'action pour le climat (VAC)<sup>1</sup> établit l'efficacité socioéconomique d'une action. Elle doit par ailleurs permettre de s'assurer que le niveau d'effort consenti reste proportionné au regard de la trajectoire nationale de réduction des émissions vers la neutralité carbone en 2050.

Suite au rapport de la commission Quinet sur la valeur de l'action pour le climat en février 2019, qui faisait le constat de la nécessité « de poser un cadre méthodologique clair et partagé pour pouvoir évaluer le coût d'abattement socioéconomique des différentes actions », la commission sur les coûts d'abattement des émissions de gaz à effet de serre a été installée en septembre 2019. Présidée par Patrick Criqui, directeur de recherche émérite au CNRS, elle est composée d'économistes et d'experts sectoriels.

L'objectif des travaux de la commission est triple :

- préciser le (ou les) sens que l'on donne au « coût d'abattement » et définir un cadre méthodologique partagé pour les calculs de ces coûts ;

---

<sup>1</sup> Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, rapport, France Stratégie, février.

- expliquer l'interprétation qui peut être faite d'une évaluation des coûts d'abattement en fonction du mode de calcul retenu, en particulier préciser comment elle peut être comparée à la valeur de l'action pour le climat ;
- présenter les coûts d'abattement harmonisés d'une série de technologies ou d'actions pour la réduction des émissions ainsi que l'utilisation qui pourrait en être faite au service des politiques climatiques et les limites de ces utilisations.

Après une première partie méthodologique qui explicite le concept et les méthodes de calcul des coûts d'abattement socioéconomiques, les travaux de cette commission seront publiés secteur par secteur. Six parties thématiques présenteront des illustrations des coûts d'abattement pour six grands secteurs : transports – le sujet du présent rapport –, électricité, hydrogène, bâtiment, industrie et agriculture.



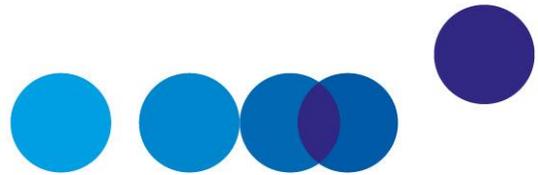
## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>Synthèse</b> .....	7
<b>Chapitre 1 – État des lieux, spécificités et perspectives du secteur</b> .....	19
1. Vue d'ensemble.....	19
2. Spécificités du secteur au regard des objectifs de décarbonation.....	21
3. La vision des transports dans la SNBC.....	23
<b>Chapitre 2 – Remplacement des véhicules conventionnels par des véhicules à faibles émissions</b> .....	27
1. État des lieux.....	27
2. Décomposition des coûts et hypothèses de calcul.....	29
3. Les coûts d'abattement mesurés « en budget carbone ».....	37
4. Comparaison des coûts d'abattement à la valeur de l'action pour le climat.....	43
5. Volume des potentiels d'abattement.....	45
6. Le cas des véhicules électriques à l'hydrogène.....	46
7. Synthèse et messages clés.....	53
<b>Chapitre 3 – Décarbonation des carburants : le cas des biocarburants</b> .....	55
1. État des lieux.....	55
2. Méthodes de calcul et paramètres retenus.....	57
3. Résultats.....	62
4. Perspectives d'approfondissement et commentaires.....	65
<b>Chapitre 4 – Leviers d'efficacité technologique et leviers comportementaux</b> .....	69
1. Améliorer les performances de la motorisation des poids lourds.....	69
2. Report modal et changements d'usage : le covoiturage et les modes actifs.....	73

## **ANNEXES**

<b>Annexe 1 – Membres de la commission .....</b>	<b>81</b>
<b>Annexe 2 – Synthèse des composantes des coûts généralisés évalués pour chaque alternative modale étudiée.....</b>	<b>83</b>
<b>Annexe 3 – Références bibliographiques .....</b>	<b>85</b>



## SYNTHÈSE

---

### Les coûts d'abattement dans les transports : état des lieux

Le secteur des transports est le premier émetteur de gaz à effet de serre (GES) en France avec 31 % des émissions totales. Ses émissions ont la particularité d'être principalement du CO<sub>2</sub> (à 96 %). Depuis le milieu des années 2000, elles ne diminuent pas, ce qui s'explique par trois grands facteurs : une tendance à l'augmentation des volumes de trafic ; une amélioration encore insuffisante des performances des véhicules neufs et enfin des résultats moins bons qu'espéré en matière de report modal, en particulier pour le transport de marchandises.

Deux grandes spécificités du secteur définissent à la fois les gisements d'abattement, les actions qu'il sera nécessaire d'entreprendre et les coûts associés : d'abord le caractère très diffus des émissions, ensuite l'existence de fortes externalités négatives (pollution de l'air et bruit) et donc l'importance des cobénéfices à la réduction.

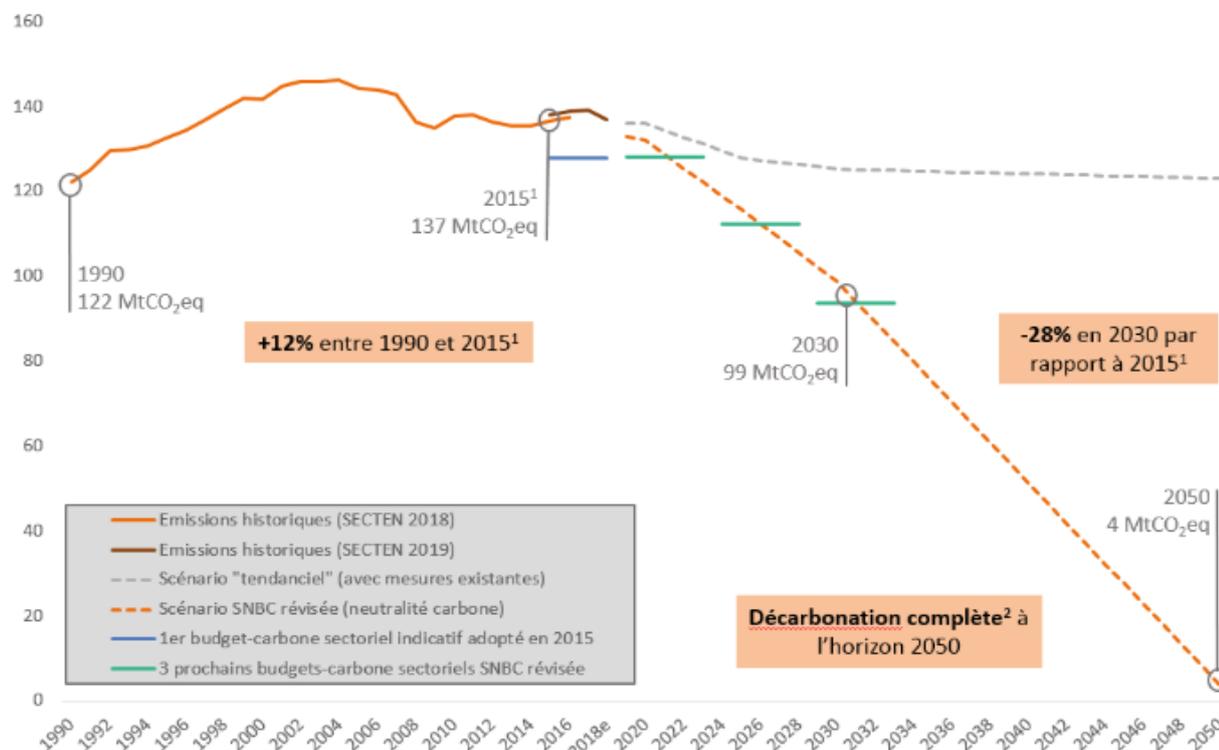
La Stratégie nationale bas carbone (SNBC) prévoit cinq leviers complémentaires pour diminuer la demande de transport et d'énergie, ainsi que l'intensité en carbone de l'énergie des transports :

- décarboner les vecteurs énergétiques utilisés, notamment en remplaçant les véhicules conventionnels par des véhicules à faibles ou très faibles émissions ;
- améliorer l'efficacité énergétique des véhicules ;
- favoriser les modes peu carbonés, transports collectifs ou modes actifs ;
- augmenter le taux de remplissage des véhicules pour les transports de personnes ou de marchandises ;
- enfin, agir en amont pour maîtriser structurellement la demande de transports.

Certaines de ces actions – report modal, covoiturage, réduction du nombre de déplacements, etc. – s'appuient sur des évolutions comportementales difficiles à quantifier, car elles peuvent impliquer une perte d'utilité (ou de « surplus ») pour l'utilisateur. En revanche, le coût d'abattement du remplacement d'un véhicule conventionnel par un véhicule à

faibles émissions peut être calculé assez simplement en comparant les coûts généralisés et actualisés de différentes options de motorisation.

**Graphique 1 – Historique et projection des émissions du secteur des transports entre 1990 et 2050 (en MtCO<sub>2</sub>eq)**



<sup>1</sup> Les émissions utilisées pour l'année 2015 sont celles de l'inventaire CITEPA SECTEN 2018.

<sup>2</sup> Ne tient pas compte des fuites résiduelles « incompressibles » de gaz (gaz fluorés, gaz renouvelables) et des émissions résiduelles issues du transport aérien domestique.

e : estimation

Source : SNBC à partir de l'inventaire CITEPA d'avril 2018 au format SECTEN et au périmètre Plan Climat

La comparaison des coûts d'abattement de différentes solutions, entre eux et par rapport à la valeur de l'action pour le climat (VAC), doit permettre de choisir les technologies les plus efficaces du point de vue de la collectivité. Les coûts d'abattement ne disent rien en revanche des outils de politique économique à mettre en place et ils ne peuvent pas être interprétés comme le niveau nécessaire pour la taxe carbone ou le bonus-malus à l'achat des véhicules (voir la *Partie 1 – Méthodologie*<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Criqui P. (2021), *Les coûts d'abattement. Partie 1 – Méthodologie*, rapport de la commission sur les coûts d'abattement, France Stratégie, juin.

## Le remplacement des véhicules conventionnels par des véhicules à faibles émissions

Les gisements associés à la transition vers des véhicules à faibles émissions constituent un élément essentiel de la stratégie de décarbonation des transports. Pour les véhicules légers, la priorité est donnée aux motorisations électriques, d'abord à batteries puis éventuellement avec pile à combustible à hydrogène. La SNBC prévoit un point de passage en 2030 avec 35 % d'immatriculations électriques et un recours transitoire aux hybrides rechargeables – en cohérence notamment avec l'interdiction en 2040 de ventes de véhicules utilisant des énergies fossiles, comme le prévoit la loi d'orientation des mobilités (LOM). Les véhicules électriques représentaient déjà en France 11 % des immatriculations de voitures particulières neuves en 2020.

Dans la comparaison des différentes options de motorisation, les composantes de coût sont essentiellement techniques (coût du véhicule, dépenses de carburant associées à l'usage, externalités liées aux émissions de polluants, etc.). Le différentiel de coût généralisé doit alors être rapporté aux émissions de gaz à effet de serre évitées (voir la [Partie 1 – Méthodologie](#)).

Les motorisations étudiées ici, outre le véhicule thermique essence pris en référence, sont : le véhicule hybride non rechargeable ou « *full hybrid* » ; l'hybride rechargeable ou « *plug-in hybrid* », qui ne fonctionne intégralement en mode électrique que sur des distances limitées ; l'électrique à batteries pour des autonomies de 200, 400 ou 600 km ; et l'électrique avec pile à combustible, que l'on désignera par simplicité motorisation « hydrogène ». Sept paramètres ont été retenus pour l'analyse des coûts généralisés des différentes options :

- le coût à l'achat des véhicules, en tenant compte des baisses du coût des véhicules à faibles émissions et d'une hausse de celui des véhicules conventionnels, du fait de l'augmentation des rendements des moteurs thermiques ;
- la consommation réelle des véhicules, en tenant compte des environnements de circulation ;
- le prix des carburants, en tenant compte de l'évolution des prix hors taxe des produits pétroliers et de l'électricité ;
- la fiscalité et le coût d'opportunité des fonds publics, afin de neutraliser les effets de transferts fiscaux ;
- les conditions et l'intensité d'usage des véhicules ;
- le coût des infrastructures de recharge dont l'importance et les conditions d'affectation ne peuvent être établis aujourd'hui que de manière très approchée ;
- enfin, les externalités environnementales (en dehors de l'impact sur les émissions de CO<sub>2</sub>), congestion, pollution sonore et qualité de l'air. Dans une logique de cycle de vie,

il conviendrait de prendre en aussi compte les externalités (autres que les émissions de CO<sub>2</sub>) liées aux batteries, mais en l'absence de référentiel adéquat elles seront à ce stade ignorées.

Les coûts d'abattement sont calculés par rapport à l'option de référence « achat d'un véhicule thermique ». Ils n'intègrent donc pas les externalités qui sont communes à tous les types de véhicules, comme l'empreinte carbone de la carrosserie.

Les coûts d'abattement sont fortement dépendants de l'ensemble de ces hypothèses, mais le véhicule électrique à faible autonomie sur le segment des « citadines » et le véhicule hybride rechargeable sur le segment des berlines présentent les indicateurs les plus favorables à court terme. Ce constat doit être nuancé par le fait qu'à l'horizon 2040, toutes les motorisations alternatives ont un bilan positif lorsqu'il est rapporté à la valeur de l'action pour le climat définie par le rapport Quinet<sup>1</sup> (507 €/tCO<sub>2</sub>eq en 2040), y compris le véhicule à hydrogène si les baisses de coût du véhicule atteignent 40 %.

#### **Encadré 1 – Les coûts d'abattement de trois types de véhicules alternatifs, pour différents jeux d'hypothèses**

Le coût d'abattement des véhicules alternatifs dépend essentiellement du prix des carburants associés au véhicule conventionnel de référence, et du coût d'investissement de ce véhicule alternatif. Les tableaux ci-dessous permettent une comparaison des coûts d'abattement pour cinq types de véhicules : citadine hybride, berline hybride, citadine électrique, berline électrique et berline hydrogène.

Les calculs sont menés pour les différents prix des énergies fossiles correspondant aux scénarios de l'AIE *Stated Policies* (AIE-AME) et *Sustainable Development* (AIE-DD). Cela révèle un cas type de « *green paradox* » : les coûts d'abattement sont plus élevés dans les scénarios de forte réduction globale des émissions (AIE-DD), car les prix des énergies fossiles y sont supposés plus faibles. Les hypothèses de prix des fossiles sont croisées avec des hypothèses de réduction plus ou moins forte du coût d'investissement du véhicule.

Le Tableau 1 est fondé sur le calcul des coûts d'abattement « en budget carbone », c'est-à-dire sans actualiser les émissions évitées des gaz à effet de serre au dénominateur. Il fait apparaître un classement des différentes options aux

<sup>1</sup> Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, rapport, France Stratégie, février.

différents horizons de temps (en bleu les coûts les plus faibles, en orange les plus élevés à chaque date), ainsi que la sensibilité du résultat aux hypothèses adoptées.

La citadine électrique présente les coûts les plus faibles à court et moyen terme (jusqu'en 2025), mais ces coûts diminuent peu sur le plus long terme. La berline électrique au contraire voit son coût d'abattement décroître de manière significative et elle devient l'option présentant les coûts les plus faibles après 2030. La berline hydrogène présente les coûts les plus élevés dans tous les cas, même avec une baisse du coût d'investissement de 40 %.

**Tableau 1 – Coûts d'abattement en budget carbone à différents horizons selon le scénario énergétique et l'évolution du prix d'achat du véhicule (en €/tCO<sub>2</sub>eq)**

	Prix des énergies Prix du véhicule	2020		2025		2030		2040	
		AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD
<b>Citadine hybride</b>	-6 % en 2040	332	360	<b>220</b>	<b>264</b>	<b>137</b>	<b>192</b>		
<b>Berline hybride</b>	-7 % en 2040	307	338	<b>225</b>	<b>273</b>	<b>186</b>	<b>245</b>	158	228
<b>Citadine électrique</b>	-18 % en 2040	<b>279</b>	<b>311</b>	<b>225</b>	<b>275</b>	220	282	206	279
	-25 % en 2040	<b>279</b>	<b>311</b>	<b>218</b>	<b>268</b>	202	264	158	232
<b>Berline électrique</b>	-21 % en 2040	413	448	284	338	252	319	238	319
	-29 % en 2040	413	448	272	326	199	266	106	187
<b>Véhicule hydrogène</b>	-20 % en 2040	<b>1025</b>	<b>1055</b>	<b>962</b>	<b>1008</b>	<b>934</b>	<b>992</b>	<b>838</b>	<b>907</b>
	-40 % en 2040	<b>1025</b>	<b>1055</b>	<b>880</b>	<b>926</b>	<b>749</b>	<b>807</b>	<b>410</b>	<b>480</b>

Lecture : ce tableau présente le coût d'abattement socioéconomique « en budget carbone » des différents véhicules, selon la baisse envisagée du prix d'achat du véhicule à l'horizon 2040 et le scénario retenu pour les prix de l'énergie. « AIE-AME » est le scénario « avec mesures existantes » établi par l'AIE ; « AIE-DD » est le scénario de l'AIE dans lequel les pays mettent en œuvre les mesures nécessaires pour limiter la hausse des températures à 2 °C. Les chiffres en bleu et orange représentent respectivement les options les moins chères et les plus chères à chaque horizon de temps. Pour les véhicules électriques, la première hypothèse de baisse de prix correspond à la moyenne des estimations de la littérature, la deuxième est plus volontariste. Sur le véhicule hydrogène, en l'absence de projection des coûts à l'horizon considéré, nous avons retenu des hypothèses *ad hoc* plausibles.

Source : calculs des auteurs

Le Tableau 2 permet de comparer les coûts des différentes options à la valeur de l'action pour le climat aux différents horizons de temps. Il présente les coûts d'abattement « ajustés à la VAC », (c'est-à-dire calculés en tenant compte du fait que le taux de croissance de la VAC est supérieur au taux d'actualisation jusqu'en 2040), qui permettent une comparaison du niveau des coûts d'abattement à la VAC. L'évaluation socioéconomique montre qu'aucun véhicule ne présente aujourd'hui un coût d'abattement inférieur à la VAC. Mais la situation change rapidement dans le temps et les coûts d'abattement deviennent inférieurs à la VAC

dès 2025 pour la citadine électrique (si le prix du carburant est élevé), en 2030 pour la berline électrique et même en 2040 pour la berline hydrogène, si la baisse du coût d'investissement est égale ou supérieure à 40 %. Or on ne peut exclure des scénarios où les progrès techniques et les effets d'apprentissage dans le déploiement entraîneraient des baisses encore plus importantes.

**Tableau 2 – Coût d'abattement ajusté à la VAC à différents horizons selon le scénario énergétique et l'évolution du prix d'achat du véhicule (en €/tCO<sub>2</sub>eq)**

	Prix des énergies	2020		2025		2030		2040	
		AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD
	VAC	88		171		253		507	
	Prix du véhicule	88		171		253		507	
Citadine hybride	-6 % en 2040	196	213	168	202	113	158		
Berline hybride	-7 % en 2040	178	196	170	206	152	200	158	228
Citadine électrique	-18 % en 2040	159	177	169	206	178	228	206	279
	-25 % en 2040	159	177	163	201	163	213	158	232
Berline électrique	-21 % en 2040	229	248	208	248	200	254	238	319
	-29 % en 2040	229	248	200	239	158	212	106	187
Véhicule hydrogène	-20 % en 2040	605	623	736	772	769	817	838	907
	-40 % en 2040	605	623	673	709	617	665	410	480

Lecture : ce tableau présente le coût d'abattement socioéconomique « ajusté à la VAC » des différents véhicules, selon la baisse envisagée du prix d'achat du véhicule à l'horizon 2040 et le scénario retenu pour les prix de l'énergie. « AIE-AME » est le scénario « avec mesures existantes » établi par l'AIE ; « AIE-DD » est le scénario de l'AIE dans lequel les pays mettent en œuvre les mesures nécessaires pour limiter la hausse des températures à 2 °C. Les coûts d'abattement en orange sont supérieurs à la VAC : le véhicule n'est pas socioéconomiquement rentable à cet horizon de temps. Lorsque le coût d'abattement est en bleu, le véhicule est socioéconomiquement rentable (les nombres en mauve correspondant à des coûts d'abattement proches de la VAC).

Source : calculs des auteurs

Dans certains cas, les coûts d'abattement sont assez stables dans le temps, voire croissants. Cela s'explique par deux types de facteurs. Il s'agit d'une part du jeu des évolutions croisées des différentes hypothèses en dynamique. En effet, la baisse du prix des véhicules électriques et la hausse de celui des motorisations thermiques (par renforcement des normes) sont compensées respectivement par la hausse du prix de l'électricité et par les gains d'efficacité énergétique des moteurs thermiques. D'autre part, dans le cas des coûts d'abattement ajustés à la VAC un second facteur intervient en raison d'une valorisation des réductions d'émission attendues qui tient compte du ralentissement de la croissance de la VAC, jusqu'à ce que son taux de croissance rejoigne en 2040 le taux d'actualisation : toutes choses égales par ailleurs, le coût d'abattement est d'autant plus faible que la substitution se fait de manière anticipée.

L'indicateur de coût d'abattement ne permet pas vraiment de discriminer véhicules hybrides et électriques à batterie, dont la rentabilité socioéconomique advient au même horizon. Cependant, comme expliqué dans la [Partie 1 – Méthodologie](#), le choix d'une technologie plutôt que d'une autre doit s'appuyer non seulement sur le coût d'abattement pour favoriser la solution la moins chère, mais aussi sur le potentiel de réduction d'émissions de chacune des technologies afin d'assurer l'atteinte de l'objectif global de baisse des émissions. Ainsi, dans la mesure où les véhicules hybrides induisent des émissions résiduelles incompatibles avec la décarbonation complète du transport terrestre, ils semblent appelés à ne jouer qu'un rôle transitoire dans la transformation du parc automobile. Cette considération invite notamment à limiter les efforts en faveur des motorisations hybrides afin d'éviter les effets de verrouillage ou de *lock-in*.

Dans l'hypothèse d'une baisse significative des coûts des technologies et du vecteur hydrogène, les véhicules à hydrogène décarboné sont susceptibles de jouer un rôle important dans la mobilité routière, en commençant dans un premier temps par des flottes correspondant à des usages spécifiques nécessitant une autonomie importante. À ce stade, les hypothèses de baisse de prix retenues pour le véhicule hydrogène sont des hypothèses de travail, dont la matérialisation dépendra aussi de la capacité du véhicule hydrogène à prendre des parts de marché à l'électrique.

## La décarbonation des carburants : le cas des biocarburants

Les biocarburants sont classés en trois générations selon l'origine des matières premières utilisées pour les produire. Les biocarburants de première génération, dits « conventionnels », sont issus de cultures qui pourraient aussi être destinées à l'alimentation (graisse, amidon, sucre). Les biocarburants de deuxième génération, dits « avancés », sont issus de résidus de cultures ou de déchets. Ils ne sont donc pas en concurrence avec la production alimentaire. Les biocarburants de troisième génération, non encore matures, sont produits à partir d'autres matières premières, notamment des algues.

Le calcul du coût d'abattement associé à la mobilisation des biocarburants est *a priori* relativement simple : il s'agit d'effectuer le ratio entre, d'une part, le différentiel de coût de production et de coûts externes du biocarburant par rapport au carburant fossile et, d'autre part, le différentiel de contenu carbone par unité énergétique.

Cependant, la production de biomasse à vocation énergétique soulève d'importants enjeux de compétition avec la production alimentaire. Elle a ainsi des effets notables sur l'environnement, avec des changements d'affectation des sols directs, quand de nouvelles surfaces sont mises en culture, ou indirects, lorsque des cultures préexistantes sont déplacées. Le bilan en termes d'émissions des biocarburants par rapport aux carburants fossiles est difficile à établir et il varie en fonction de très nombreux paramètres.

En particulier, il pourra être fortement dégradé par la disparition induite de puits de carbone naturels tels que les forêts.

En conséquence, les travaux scientifiques montrent une grande disparité des résultats et de fortes incertitudes en ce qui concerne les réductions de GES permises par les bioénergies par rapport à des sources d'origine fossile, en particulier lorsqu'on tient compte des changements d'affectation des sols, y compris indirects. Pour cette étude, nous retenons des baisses des émissions moyennes : pour le bioéthanol de première génération, une baisse des émissions comprises entre 30 % et 40 % par rapport à l'essence ; pour le biodiesel de première génération, une baisse de 15 % à 25 % seulement par rapport au gazole ; pour les biocarburants de deuxième génération, une réduction des émissions comprises entre 50 % et 60 % en moyenne.

Il apparaît avec ces calculs que la rentabilité socioéconomique des biocarburants de première génération n'est actuellement pas garantie, y compris avec les hypothèses les plus favorables pour les réductions d'émissions.

L'analyse des coûts d'abattement des biocarburants de deuxième génération peut être menée sur la base d'une méta-analyse de l'INRA. Il apparaît que si ces biocarburants ne sont clairement pas socioéconomiquement rentables aujourd'hui, ils pourraient l'être à compter de 2030 (c'est-à-dire que leur coût d'abattement ajusté à la VAC serait inférieur à la VAC), à condition que des baisses de coûts de production significatives (de 20 % à 30 %) se matérialisent. Ces biocarburants permettant des réductions d'émissions significativement plus importantes en moyenne, ces résultats plaident pour une concentration des efforts vers ces technologies.

Mais quand bien même leur utilisation serait socioéconomiquement efficace, les biocarburants induisent des réductions d'émissions limitées par trois types de contraintes, ce qui réduit leur intérêt à long terme dans une perspective de décarbonation complète des transports terrestres à l'horizon 2050 : la contrainte d'incorporation aux carburants (sans changement dans l'alimentation du véhicule, le taux de biocarburant est limité à 5 % ou 10 % selon les motorisations) ; la contrainte de pollution locale et enfin la contrainte sur les ressources en biomasse disponibles. Du fait de ces trois contraintes, notamment de la ressource limitée, les biocarburants ne semblent pas devoir être privilégiés pour les véhicules particuliers, mais réservés aux modes de transports pour lesquels l'électrification n'est pas envisageable.

Au total, pour les véhicules particuliers, les véhicules électriques remplissent à la fois les critères de rentabilité à moyen terme et de potentiel important de décarbonation et semblent être une solution « sans regret ». Pour les usages spécifiques nécessitant une autonomie importante, les véhicules hybrides à court terme – et, à plus long terme, l'hydrogène – pourront constituer une alternative. Dans ce dernier cas, le déploiement

massif des véhicules électriques à hydrogène dépendra conjointement des baisses de coût dans la production en série et de l'existence d'une infrastructure de ravitaillement adaptée.

## Améliorer les performances de la motorisation des véhicules : les cas des poids lourds

Le transport routier de marchandises est la deuxième source d'émission de gaz à effet de serre dans le secteur des transports. Poids lourds et utilitaires contribuent à plus de 40 % des émissions du secteur, soit plus de 12 % de l'ensemble des émissions nationales. La décarbonation complète des transports terrestres prévue dans la SNBC à l'horizon 2050 ne pourra se faire sans une conversion massive du parc vers des motorisations à faibles émissions. Si le mouvement est analogue à la transformation progressive du parc de véhicules légers, l'analyse des véhicules poids lourds fait cependant ressortir des différences significatives, en raison d'une offre de motorisations alternatives aujourd'hui moins développée et de la très grande diversité des conditions d'usage.

Le scénario sous-jacent à la SNBC prévoit que les motorisations diesel représenteront encore les deux tiers des immatriculations de poids lourds neufs en 2030. Les règlements européens établissent, de manière analogue à la réglementation applicable aux véhicules particuliers, des normes d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les poids lourds neufs vendus dans l'Union européenne, visant une réduction de l'intensité carbone à la tonne.km de 15 % d'ici 2025 et de 30 % d'ici 2030.

Les travaux menés pour l'International Council on Clean Transportation (ICCT) estiment en effet qu'une réduction d'environ 30 % des émissions des véhicules lourds est accessible pour un coût d'abattement négatif pour la collectivité hors considération des externalités climatiques. Autrement dit, la réduction de 30 % de l'intensité carbone des poids lourds neufs vendus dans l'Union européenne d'ici 2030 semble souhaitable, indépendamment des réductions d'émissions qu'elle permet. Elle fait donc partie des potentiels de décarbonation sans regrets.

Cependant, des coûts d'abattement socioéconomiques négatifs ne signifient pas pour autant que les gisements concernés sont susceptibles de se déployer spontanément et rapidement sans mécanisme d'incitation. En effet, la manière dont ils sont calculés ne reflète pas les critères de choix des agents privés, en raison d'une part d'un taux d'actualisation plus faible et d'autre part de la non-prise en compte des coûts de transaction ou autres « coûts cachés ».

## Report modal et changements d'usage : les cas du covoiturage et des modes actifs

En France, l'automobile reste le mode de transport largement privilégié pour les déplacements locaux. Mais ce constat cache de profondes différences entre les territoires. Quand l'automobile est encore utilisée pour près de 80 % des déplacements locaux en milieu rural, la marche et les transports en commun en couvrent plus de 60 % dans l'agglomération parisienne. La mise en évidence de ces contrastes invite à une approche différenciée, territoire par territoire.

### **Le covoiturage**

Sans modifier la part de l'automobile dans les déplacements locaux, le développement du covoiturage à courte et moyenne distance permettrait de limiter les consommations énergétiques et les impacts climatiques par passager transporté. En effet, le taux d'occupation des véhicules est aujourd'hui faible : il est de seulement 1,2 pour les trajets inférieurs à 20 km (82 % des déplacements), mais dépasse 2 pour les trajets de plus de 200 km.

La Stratégie de développement de la mobilité propre de 2016 définissait une cible de 1,8 à 2 personnes en moyenne par véhicule en 2030 (contre 1,3 en moyenne aujourd'hui), en insistant sur le nécessaire développement des aires dédiées au covoiturage et des services numériques facilitant la mise en relation des covoitureurs potentiels. Même si la crise sanitaire peut constituer un frein temporaire au développement des modes partagés, l'ambition est maintenue dans le plan de relance du gouvernement, qui prévoit des crédits additionnels pour la réalisation de voies réservées au covoiturage.

### **Les modes actifs, vélo et marche**

Pour le vélo, en matière de pratique cyclable, la France se signale par un retard certain sur d'autres pays européens. Les Français ne sont que 4 % à déclarer le vélo comme mode de transport le plus utilisé, contre plus de 35 % de la population aux Pays-Bas, 20 % au Danemark ou en Hongrie, et 9 % en moyenne à l'échelle européenne. Le constat doit aussi tenir compte de disparités territoriales et locales fortes : si la pratique du vélo a récemment fortement augmenté dans le cœur des grandes villes, elle continue de s'affaïsser en périphérie.

Cela signifie que le potentiel de développement est très important. En effet, le vélo est particulièrement bien adapté aux déplacements entre 1 km et 5 km, l'essor des vélos à assistance électrique élargissant ce rayon aux déplacements jusqu'à 7 km. Et ce potentiel concerne l'ensemble des territoires : la Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGECC) estime que la part des déplacements cibles du vélo est de 54 % dans le centre

des grandes villes, de 65 % dans la périphérie des petites villes et encore de 50 % dans la périphérie des grandes villes et dans les communes « multipolaires ». La Stratégie de déploiement de la mobilité propre repose par ailleurs sur l'hypothèse d'une multiplication par quatre de la part modale du vélo d'ici 2030.

Les enjeux se posent de manière significativement différente pour la marche : son potentiel de développement semble bien moindre dans la mesure où elle parviendrait déjà à capter 60 % à 90 % de ses déplacements cibles, à moins de 1 km.

### ***Comment calculer les coûts d'abattement ?***

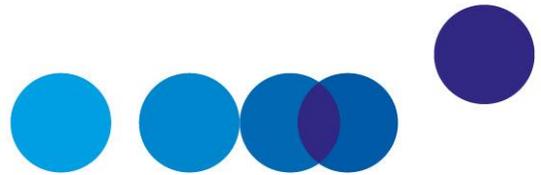
La méthodologie de calcul des coûts d'abattement associés aux reports modaux de l'automobile vers le covoiturage ou les mobilités actives reste aujourd'hui exploratoire. L'évaluation est structurellement plus difficile que pour le remplacement des véhicules, dans la mesure où il s'agit de comparer des usages imparfaitement substituables du point de vue des services rendus et des coûts non marchands associés. Le coût d'abattement doit prendre en compte notamment les coûts marchands pour l'utilisateur, le coût du temps associé aux différents modes, les coûts externes transport (infrastructures, congestion, risques), les externalités environnementales et enfin les cobénéfices santé.

Dans ce cas, l'évaluation et la comparaison des coûts d'abattement se heurte à deux difficultés principales : tout d'abord l'incertitude et la variabilité des principaux paramètres en fonction des milieux d'usage ; et surtout la très grande dépendance des résultats au type de composante prise en compte dans le calcul.

En particulier, les coûts sont très élevés lorsqu'on ne tient compte que des coûts directs pour l'utilisateur, du fait de la valeur du temps : les trajets étant plus longs à vélo ou à pied qu'en voiture, la valorisation du temps perdu tire fortement le coût d'abattement à la hausse. À l'inverse, dès lors qu'on intègre les cobénéfices sanitaires, le coût d'abattement baisse drastiquement, jusqu'à être fortement négatif pour le vélo et dans une moindre mesure pour la marche.

Au final, il apparaît que le coût d'abattement est un indicateur très imparfait pour discuter la pertinence économique de l'encouragement à la pratique des modes actifs (et dans une moindre mesure du covoiturage). Outre la difficulté à comparer des modes imparfaitement substituables, l'incertitude sur le résultat du bilan socioéconomique dépend fondamentalement de deux composantes : les pertes de temps d'une part, les gains en termes de santé d'autre part.





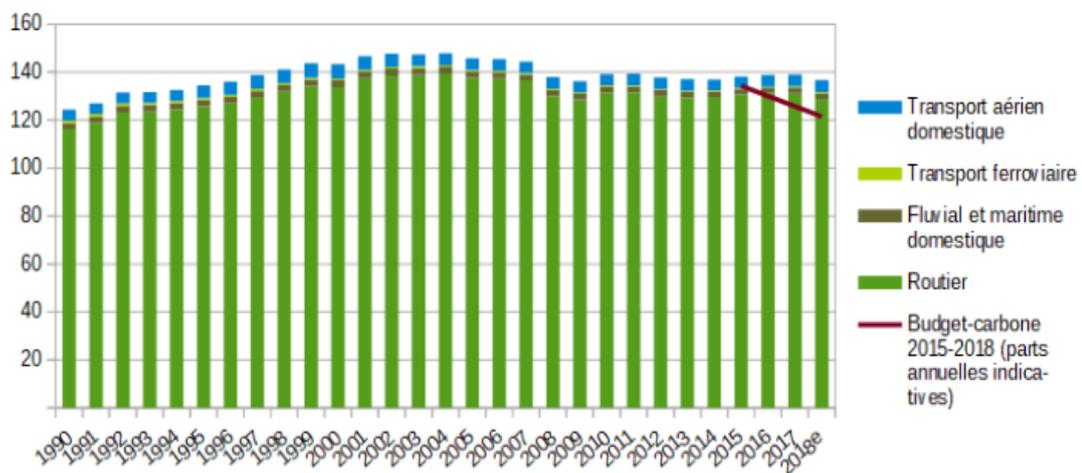
# CHAPITRE 1

## ÉTAT DES LIEUX, SPÉCIFICITÉS ET PERSPECTIVES DU SECTEUR

### 1. Vue d'ensemble

Le secteur des transports est le premier secteur d'émissions de gaz à effet de serre en France avec 136 MtCO<sub>2</sub>eq émis en 2018 (Graphique 2), soit 31 % des émissions nationales (hors soutes)<sup>1</sup>. Ces émissions ont la particularité d'être principalement du CO<sub>2</sub>, à hauteur de 96 %.

Graphique 2 – Évolution des émissions de GES du secteur des transports (en MtCO<sub>2</sub>eq)



e : estimation

Source : SNBC, 2020 à partir de l'inventaire CITEPA de mai 2019 au format SECTEN et au périmètre Plan Climat Kyoto, données non corrigées de variations climatiques. Émissions hors soutes internationales

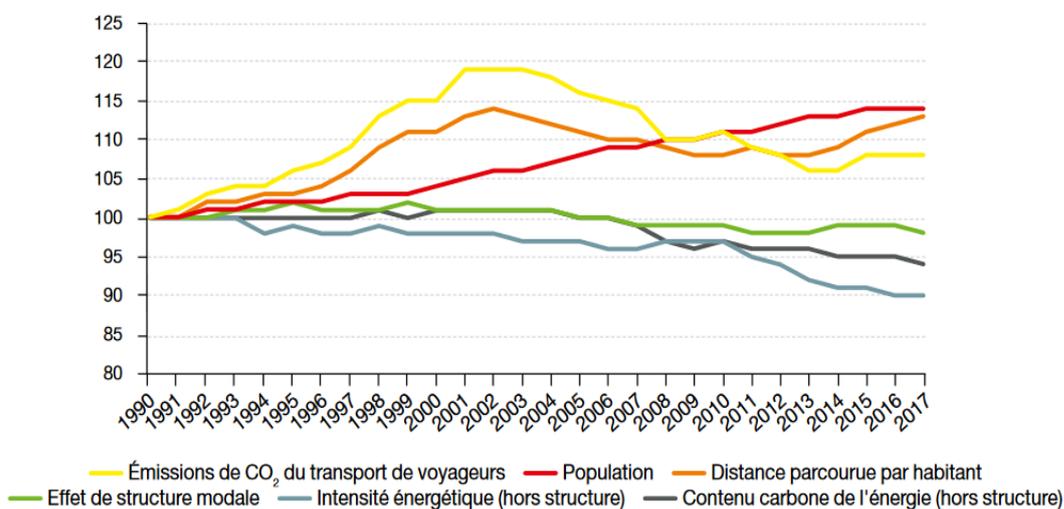
<sup>1</sup> Citepa (2020), *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques - bilan des émissions en France de 1990 à 2018*, rapport national d'inventaire au format SECTEN, juin.

Contrairement aux autres secteurs, qui ont connu en France une baisse de leurs émissions depuis 1990, le transport se caractérise, après une hausse de 1990 à 2004, par une stabilité remarquable depuis 2008. Le trafic routier est à l'origine de 94 % des émissions de ce secteur, contre près de 4 % pour l'aérien domestique, 2 % pour le maritime, le fluvial et la plaisance et enfin moins de 1 % pour le ferroviaire<sup>1</sup> (Graphique 2 page précédente).

La stabilité des émissions s'explique par trois facteurs qui s'appliquent particulièrement au secteur routier : une tendance à l'augmentation des trafics, une amélioration encore insuffisante des performances des véhicules neufs et enfin des résultats moins bons qu'espéré pour le report modal, en particulier dans le transport de marchandises.

Pour illustrer les raisons de cette stagnation des émissions, le Graphique 3 décompose en cinq facteurs l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> entre 1990 et 2017 pour le transport de voyageurs, qui représente plus de la moitié des émissions du secteur. La baisse du contenu carbone de l'énergie – grâce notamment à l'incorporation de biocarburants et à l'électrification progressive de certains modes – et une intensité énergétique moindre ont été compensés par d'autres facteurs comme la hausse de la population et la distance parcourue par habitant.

**Graphique 3 – Décomposition de l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de voyageurs en France (base 100 en 1990)**



Note : les émissions de CO<sub>2</sub> sont égales, à un facteur 100 près, au produit des autres grandeurs représentées.

Champ : tous modes, y compris les véhicules étrangers, hors transport aérien international.

Source : CGDD (2019), « *Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie en France de 1990 à 2017 – Facteurs d'évolution et éléments de comparaison internationale* », Datalab Énergie ; calculs SDES

<sup>1</sup> Ibid.

Ces tendances n'ont pas permis de satisfaire les cibles du budget carbone 2015-2018, telles que définies dans la SNBC de 2018 (Graphique 1). En effet, ce budget prévoyait une baisse de 10 % environ des émissions de GES sur la période. Parmi les raisons invoquées dans la SNBC pour expliquer le retard pris dans la décarbonation du secteur, on peut citer la faiblesse des prix des énergies fossiles, l'écart entre les émissions théoriques et effectives des véhicules ou encore les résultats décevants en matière de report modal.

## 2. Spécificités du secteur au regard des objectifs de décarbonation

Le secteur des transports présente deux grandes spécificités qui définissent très directement les gisements d'abattement et les actions qu'il sera nécessaire de mettre en œuvre pour les mobiliser : premièrement, le caractère très diffus des émissions et deuxièmement l'existence d'externalités négatives importantes, donc de cobénéfices à la réduction.

À première vue, le secteur semble très uniforme, car le trafic routier est à l'origine de la quasi-totalité de ses émissions. Les efforts de décarbonation vont ainsi porter prioritairement sur le transfert modal puis, au sein du transport routier, sur le verdissement du parc de véhicules. Cette concentration des émissions peut laisser espérer une décarbonation rapide du fait de l'apparente homogénéité du secteur et de l'existence de solutions à basses émissions.

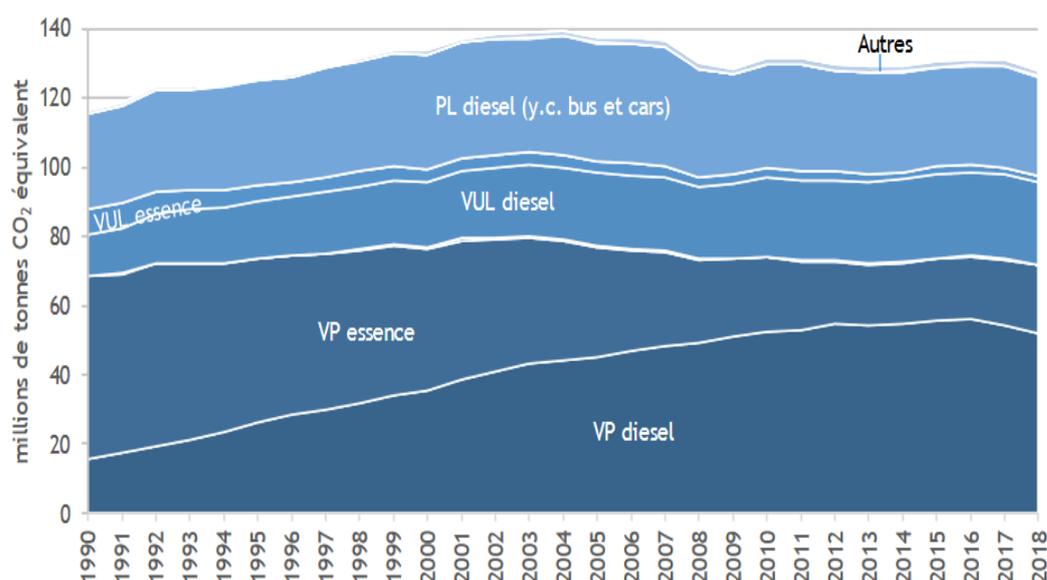
Cependant, les émissions du transport routier sont induites par un nombre très important de véhicules particuliers (VP), d'utilitaires légers (VUL) et de poids lourds (PL) (Graphique 4 page suivante). Le parc de véhicules particuliers représente en effet 32,7 millions de véhicules en 2018, celui des utilitaires légers près de 6,2 millions et celui de véhicules lourds près de 650 000<sup>1</sup>.

Le gisement du secteur est donc éclaté en un grand nombre d'équipements et les actions de décarbonation dépendent de décisions d'investissement fragmentées, émanant d'une multitude d'acteurs. Dans ce contexte, les flottes de l'administration ou des entreprises peuvent constituer des marchés de niche et un levier important pour la conversion des parcs.

---

<sup>1</sup> CGDD (2020), « [Chiffres clés du transport – Édition 2020](#) », *Datalab Transport*, Commissariat général au développement durable, mars.

Graphique 4 – Évolution des émissions du transport routier depuis 1990 en France



Source : Citepa (2020), [Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques – bilan des émissions en France de 1990 à 2018, rapport national d'inventaire, format SECTEN](#)

Les caractéristiques spécifiques du transport routier ne se limitent pas aux types de véhicules et à leurs motorisations. D'autres dimensions sont à prendre en compte, liées notamment à l'hétérogénéité des usages (nombre de kilomètres parcourus chaque année, milieux de circulation, etc.). Ainsi, les solutions de décarbonation efficaces ne seront pas nécessairement les mêmes pour un véhicule parcourant beaucoup de kilomètres en milieu urbain que pour un véhicule faiblement utilisé en zone rurale.

La deuxième caractéristique du secteur des transports est la présence d'externalités importantes. Celle liée aux coûts de congestion s'applique à tous les types de véhicules. Mais ce sont les motorisations thermiques qui, outre leur impact climatique, sont responsables de deux externalités environnementales majeures : la pollution de l'air et les nuisances sonores. Comme pour les émissions de GES, le transport routier est la cause principale de ces externalités.

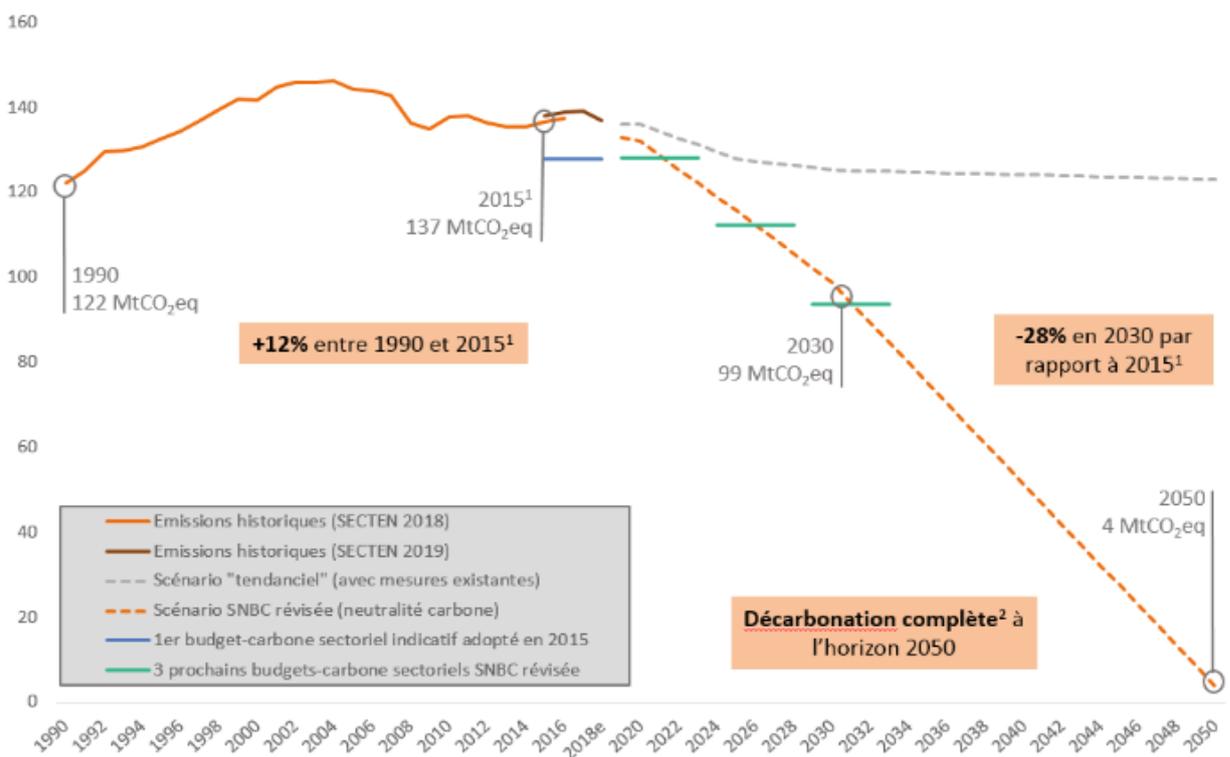
Pour la qualité de l'air, le transport routier représente de 75 % à 100 % des émissions des transports, selon les polluants. La prise en compte des cobénéfices aura donc une incidence considérable sur le calcul des coûts d'abattement, avec toutefois une forte dépendance aux milieux d'usage. En particulier, les externalités relatives à la qualité de l'air et aux nuisances sonores auront un poids beaucoup plus important lorsqu'on s'intéressera aux déplacements en zones densément peuplées.

### 3. La vision des transports dans la SNBC

La SBNC donne au secteur des transports un rôle clé dans la décarbonation de la France à l'horizon 2050 (Graphique 5). Ce rôle se concrétise notamment par un objectif intermédiaire à l'horizon 2030 d'une baisse de 28 % des émissions par rapport au niveau de 2015. Cela suppose une inflexion très rapide des émissions de ce secteur, qui devra rompre avec la stabilité observée sur les deux dernières décennies.

Le report modal jouera un rôle prépondérant en réorientant la demande de mobilité vers les modes alternatifs peu émetteurs de GES. Mais l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 devra passer par une décarbonation complète des transports terrestres et maritimes, avec un passage à des motorisations peu émettrices et surtout à des vecteurs énergétiques décarbonés.

**Graphique 5 – Historique et projection des émissions du secteur des transports entre 1990 et 2050 (en MtCO<sub>2</sub>eq)**



<sup>1</sup> Les émissions utilisées pour l'année 2015 sont celles de l'inventaire CITEPA SECTEN 2018.

<sup>2</sup> Ne tient pas compte des fuites résiduelles « incompressibles » de gaz (gaz fluorés, gaz renouvelables) et des émissions résiduelles issues du transport aérien domestique.

e : estimation

Source : SNBC à partir de l'inventaire CITEPA d'avril 2018 au format SECTEN et au périmètre Plan Climat

Sur la période 2015-2040, une transformation complète du parc de véhicules sera donc nécessaire. Elle doit s'accompagner de la mise en place des nouvelles infrastructures de ravitaillement nécessaires au déploiement des véhicules à faibles émissions. Corrélativement, le verdissement du parc automobile va s'accompagner d'une hausse de la demande des vecteurs énergétiques décarbonés, en particulier l'électricité.

Or la SNBC considère qu'à comportements inchangés, la mobilisation des deux seuls leviers du report modal et du verdissement du parc entraînerait une pression significative sur les vecteurs énergétiques décarbonés, avec des conséquences sur leurs coûts et leur prix. C'est notamment pourquoi, afin de soulager la pression sur l'offre décarbonée, elle prévoit en amont deux leviers complémentaires qui visent à baisser la demande de transport et d'énergie, soit par une plus grande efficacité technique, soit par des changements de comportement vers plus de sobriété.

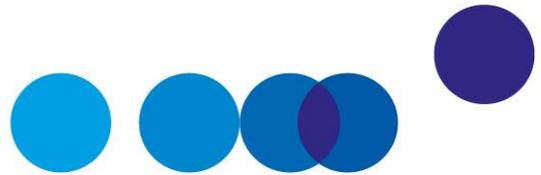
En résumé, la SNBC pour le secteur des transports repose sur cinq grands leviers :

- **Décarboner l'énergie consommée dans le secteur** : pour y parvenir, le scénario technique prévoit 35 % de motorisations électriques et 10 % d'hybrides rechargeables dans les ventes de véhicules particuliers neufs en 2030, et 100 % d'électriques en 2040. À cet horizon, les véhicules électriques à hydrogène pourraient également avoir un rôle à jouer. L'évolution des flottes concernera aussi l'ensemble des modes lourds (rail, maritime et fluvial), mais les contraintes spécifiques à certains usages laissent imaginer le recours à des solutions techniques plus variées.
- **Améliorer la performance énergétique des véhicules**, de manière à réduire la consommation de carburants, même entièrement décarbonés. La SNBC fixe notamment des objectifs chiffrés en matière d'efficacité énergétique et de consommation réelle des véhicules routiers (particuliers et poids lourds) à différents horizons entre 2030 et 2040, selon les motorisations.
- **Rééquilibrer les parts modales en faveur des modes plus économes en énergie et moins émetteurs**. Pour le transport de personnes, cela passe notamment par une augmentation du vélo : le Plan vélo de 2018 vise un passage de 3 % à 12 % en nombre de déplacements de courte distance en 2030, et à 15 % en 2050. Cela passe aussi par le développement des transports collectifs, avec une progression de part modale de 7 points entre 2015 et 2050. En ce qui concerne le transport de marchandises, la SNBC propose de dynamiser les alternatives à la route, notamment par la mise en place d'autoroutes ferroviaires et par le renforcement de l'attractivité des infrastructures portuaires et maritimes.
- **Optimiser le remplissage des véhicules**, pour le transport de passagers et de marchandises, de manière aussi à réduire les émissions par passager.km ou tonne.km. En ce qui concerne le transport de passagers, l'essor du covoiturage ou d'autres services de mobilité partagés doit permettre d'y contribuer.

- **En amont, maîtriser l'augmentation de la demande de transports**, en activant notamment des moyens structurels de découplage par rapport au PIB : nouvelles formes d'urbanisation et d'organisation du territoire, organisation du travail avec l'essor du télétravail, développement de l'économie circulaire et des circuits courts. Ces transformations profondes s'inscrivent dans le temps long, même si la crise sanitaire peut avoir un effet accélérateur, avec des effets positifs mais aussi négatifs : le télétravail, bien que réduisant les trajets pendulaires, pourrait aussi soutenir l'étalement urbain ou avoir un effet-rebond sur les déplacements non professionnels.

De nombreuses incertitudes subsistent en matière de compétition entre les différentes options et technologies. Ces incertitudes appellent une méthodologie rigoureuse pour identifier les actions de décarbonation les plus efficaces. La dynamique temporelle est d'autant plus importante dans l'hypothèse de l'introduction d'un prix du carbone. Si ce prix augmente dans le temps, il devrait rendre « coût-efficaces » certaines actions de décarbonation qui apparaissent aujourd'hui trop coûteuses.





## CHAPITRE 2

# REMPLACEMENT DES VÉHICULES CONVENTIONNELS PAR DES VÉHICULES À FAIBLES ÉMISSIONS

---

### 1. État des lieux

Les gisements associés à la transition vers des véhicules à faibles émissions constituent le principal levier de décarbonation des transports dans la SNBC. Pour les véhicules légers, la priorité est clairement donnée aux motorisations électriques – d’abord à batteries, puis éventuellement avec pile à combustible hydrogène – qui pourraient en 2050 couvrir l’intégralité des immatriculations de véhicules particuliers (VP) et 80 % de celles des utilitaires légers (VUL). Le scénario de la SNBC prévoit un point de passage en 2030 avec 35 % d’immatriculations électriques pour les VP et un recours transitoire aux hybrides rechargeables – en cohérence avec l’interdiction en 2040 de ventes de véhicules utilisant des énergies fossiles prévue dans la loi d’orientation des mobilités (LOM) et compte tenu du « fléchage » des biocarburants sur certains usages spécifiques.

Les motorisations à faibles émissions occupent aujourd’hui encore des parts de marché minoritaires, mais en croissance rapide. En 2019, les voitures électriques et les hybrides rechargeables ont représenté respectivement 1,9 % et 0,8 % des immatriculations totales<sup>1</sup>. En début d’année 2020, la part de marché des véhicules électriques a très significativement augmenté sous l’effet notamment de l’entrée en vigueur de la réglementation européenne sur les émissions de CO<sub>2</sub><sup>2</sup> : les véhicules électriques constituaient 8,2 %

---

<sup>1</sup> Avere (2020), « [Baromètre annuel : près de 70 000 véhicules légers rechargeables immatriculés en 2019 !](#) », Association nationale pour le développement de la mobilité électrique, 9 janvier.

<sup>2</sup> Le règlement européen (règlement 2019/631 du Parlement européen et du Conseil) du 17 avril 2019 établit des exigences de performance en matière d’émissions de CO<sub>2</sub> pour les véhicules neufs immatriculés dans l’UE. Il fixe aux constructeurs immatriculants plus de 300 000 véhicules par an en Europe un objectif moyen de 95 gCO<sub>2</sub>/km sur leurs ventes de voitures particulières neuves en 2020. En pratique, la mise en œuvre de

des immatriculations de voitures particulières neuves en janvier 2020. Cette part de marché élevée se maintient sur les trois premiers trimestres de l'année malgré la chute des ventes totales liée au confinement. Pour rappel, le contrat stratégique de la filière (CSF)<sup>1</sup> automobile vise une multiplication par cinq des ventes de véhicules 100 % électriques entre 2018 et 2022. Cela représenterait environ 150 000 immatriculations neuves en 2022, avec une cible à un million de véhicules électriques et hybrides rechargeables en circulation à cet horizon.

Les actions de déploiement des motorisations à faibles ou zéro émissions peuvent être évaluées de manière relativement simple dans une analyse des coûts d'abattement socioéconomiques. En effet, ces derniers peuvent être déterminés en comparant les coûts généralisés et actualisés des différentes options de motorisation. Les composantes de coût sont essentiellement techniques (coût du véhicule, dépenses de carburant associées à l'usage, externalités liées aux émissions de polluants, etc.) et doivent être rapportées aux émissions de GES évitées (voir la [Partie 1 – Méthodologie](#)).

En revanche, certaines actions – report modal, covoiturage, réduction du nombre de déplacements, etc. – s'appuient sur des évolutions comportementales plus difficiles à quantifier, car elles peuvent impliquer une perte d'utilité (ou de « surplus ») pour l'utilisateur. Dans le cas des véhicules à faibles émissions, on négligera ici la perte d'utilité associée à leur utilisation<sup>2</sup>. En pratique, l'activation des actions de réduction réside principalement dans les décisions d'achat décentralisées des acquéreurs de véhicules (ménages, gestionnaires de flotte, etc.), et plus précisément dans leurs choix de motorisation. On analysera succinctement les déterminants de ces leviers comportementaux et les écarts par rapport au bilan socioéconomique dans le Chapitre 4.

---

l'objectif est partielle en 2020, car les 5 % des véhicules les plus polluants sont exclus du calcul des émissions moyennes et les véhicules à faibles et très faibles émissions bénéficient d'une surpondération durant trois ans. L'objectif est en outre différencié par constructeur selon la masse des véhicules, avec un critère dit d'« utilité » qui vise à maintenir de la diversité dans l'offre, c'est-à-dire en privilégiant les leviers technologiques de décarbonation à la réduction de la taille (et du poids) des véhicules.

<sup>1</sup> Conseil national de l'industrie (2018), « [Contrat stratégique de la filière Automobile \(2018-2022\)](#) », 22 mai.

<sup>2</sup> En théorie, les contraintes d'autonomie des véhicules électriques à batteries pourraient se traduire par un coût pour les usagers : il devrait être possible de déterminer un équivalent monétaire associé à la moindre disponibilité de ces véhicules (en particulier sur de longs trajets) par rapport à leurs équivalents thermiques.

## 2. Décomposition des coûts et hypothèses de calcul

### 2.1. Principe général

Les coûts d'abattement des actions de changement de motorisation des véhicules particuliers présentés ci-dessous sont obtenus :

- en déterminant les coûts généralisés associés à l'usage d'un véhicule sur sa durée de vie, ainsi que les émissions de GES associées ;
- en les comparant à la référence d'un véhicule thermique utilisant un carburant fossile (essence ou diesel) dont on suppose que la consommation unitaire diminue tendanciellement (selon le scénario de référence de la SNBC) ;
- en reportant le surcoût aux émissions évitées ;
- en réalisant les calculs à quatre horizons de temps successifs (2020, 2025, 2030 et 2040), pour pouvoir notamment les comparer à la trajectoire de la valeur de l'action pour le climat et déterminer à quel horizon les technologies deviennent socioéconomiquement efficaces.

On considérera deux gammes de véhicules, la première représentative des segments A et B (« citadines » et « polyvalentes ») et la seconde qui visera à rendre compte de véhicules de taille supérieure, principalement des segments C et D (« compactes bicorps et tricorps », « berlines familiales » ou SUV). Les motorisations étudiées, outre les véhicules thermiques essence pris en référence, seront :

- **l'hybride non rechargeable ou « full hybrid »**, dont la batterie se charge par le biais du moteur à combustion et ne se branche pas sur le réseau électrique. Cette motorisation sera étudiée exclusivement pour l'entrée de gamme (segments A et B) ;
- **l'hybride rechargeable ou « plug-in hybrid »**, qui peut fonctionner uniquement sur son mode électrique mais sur des distances limitées et à des vitesses réduites. À l'inverse, cette motorisation ne sera étudiée que pour la seconde partie de la gamme (segments C et D, et SUV), en faisant l'hypothèse qu'elle s'accompagne d'une batterie de 15 kWh pour une autonomie réelle comprise entre 50 km et 60 km ;
- **l'électrique à batterie**, dont on considérera des niveaux d'autonomie différents : 30 kWh et 200 km ou 60 kWh et 400 km pour les segments A et B ; 70 kWh et 400 km ou 105 kWh et 600 km pour les segments C, D et SUV ;

- **l'électrique avec pile à combustible**, que l'on désignera par simplicité motorisation « hydrogène »<sup>1</sup>. En l'occurrence, cette technologie, dont le niveau de maturité n'est pas comparable (63 véhicules immatriculés en 2020 d'après l'Avere<sup>2</sup>), sera discutée à part et dans un second temps.

## 2.2. Décomposition des coûts généralisés

Le calcul des coûts d'abattement socioéconomiques doit tenir compte de l'ensemble des coûts pour la collectivité du remplacement d'une motorisation par une autre.

### Coût à l'achat des véhicules

Les hypothèses de coûts d'achat des véhicules (voir Tableau 3) reposent sur le croisement de plusieurs études comparant des coûts complets de possession et sont ajustés sur la base des prix catalogues des principaux modèles vendus en France en 2019-2020. Au-delà des prix de base en 2020, des hypothèses doivent être avancées pour l'évolution des prix aux différents horizons de temps, avec des paramètres exogènes de progrès technologiques reposant sur trois déterminants :

- pour les véhicules électriques et hybrides rechargeables, une baisse tendancielle du prix des batteries (voir Graphique 6). On considère notamment une division par deux du prix des batteries entre 2020 et 2030, et par trois entre 2020 et 2040 ;
- pour toutes les motorisations à faibles émissions, y compris ici les hybrides non rechargeables, des baisses de coûts additionnelles (de 5 % à 10 % entre 2020 et 2025) associées à des gains de productivité sur les chaînes de production ou à l'amortissement progressif des investissements de R & D ;
- pour les motorisations thermiques de référence, des augmentations tendanciennes des prix (de l'ordre de 5 % entre 2020 et 2025) associées à la recherche d'une meilleure efficacité énergétique<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Les caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène en font également une solution à considérer pour une utilisation directe dans des moteurs à combustion. Toutefois, cette option technologique, à laquelle on ne s'intéressera pas ici, a un rendement énergétique moins favorable et entraîne des rejets d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Des adaptations spécifiques permettant néanmoins d'y remédier partiellement, cette option pourrait constituer une solution de transition, en phase de développement des infrastructures de production et de distribution d'hydrogène et avant que la technologie de pile à combustible atteigne sa pleine maturité.

<sup>2</sup> Association nationale pour le développement de la mobilité électrique.

<sup>3</sup> CGDD (2017), « [Analyse coûts-bénéfices des véhicules électriques. Les voitures](#) », *Analyse théma transport*, Commissariat général au développement durable, juillet.

**Tableau 3 – Hypothèses sur les caractéristiques des véhicules (prix d'achat et consommation) aux horizons de temps étudiés**

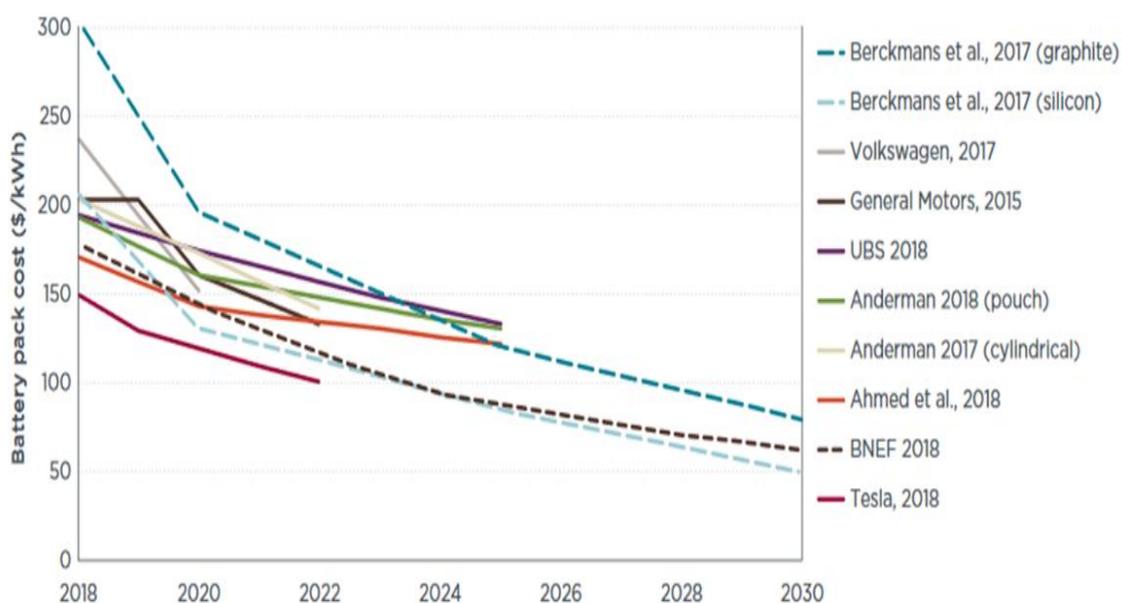
	Motorisation	2020	2025	2030	2040
Classe 1 : segments A et B	Essence	14 500 € 5,6 L/100 km	15 000 € 5,0 L/100 km	16 000 € 4,5 L/100 km	/
	Hybride essence	18 000 € 4,6 L/100 km	17 000 € 4,3 L/100 km	17 000 € 4,1 L/100 km	17 000 € 3,9 L/100 km
	Électrique (200 km)	22 500 € 17,1 kWh/100 km	20 000 € 16,2 kWh/100 km	19 500 € 15,4 kWh/100 km	22 300 € 14,5 kWh/100 km
	Électrique (400 km)	28 500 € 17,1 kWh/100 km	22 500 € 16,2 kWh/100 km	21 000 € 15,4 kWh/100 km	20 000 € 14,5 kWh/100 km
Classe 2 : segments C, D et SUV	Essence*	29 000 € 7,1 L/100 km	30 000 € 6,4 L/100 km	31 000 € 5,7 L/100 km	32 000 € 4,9 L/100 km
	Diesel	31 000 € 5,6 L/100 km	32 000 € 5,0 L/100 km	33 000 € 4,5 L/100 km	/

Lecture : en bleu, référence pour les calculs de coûts d'abattement.

\* En 2040, on fait l'hypothèse que ce véhicule essence bénéficie d'une hybridation essence.

Source : commission sur les coûts d'abattement

**Graphique 6 – Revue de littérature (études techniques et documents stratégiques de constructeurs) des perspectives d'évolution du prix des batteries**



Source : ICCT (2019), « Update on electric vehicle costs in the United States through 2030 », Working Paper, n° 2019-06, avril

## Consommation réelle des véhicules

À nouveau, les hypothèses exogènes structurantes concernent les progrès d'efficacité énergétique aux différents horizons de temps (voir Tableau 1 ci-dessus). Les paramètres retenus sont fondés sur les mêmes études que précédemment, en cohérence avec le scénario SNBC : les moteurs thermiques bénéficient de gains d'efficacité de 20 % d'ici 2030 par rapport à 2020, et les motorisations hybrides non rechargeables – dont on suppose qu'elles sont déjà davantage optimisées – de 10 % ; pour les motorisations électriques, les gains d'efficacité sont de 10 % d'ici 2030 et 15 % d'ici 2040 (par rapport à 2020). Par ailleurs, on notera qu'en 2040, les calculs sont réalisés par rapport à un véhicule hybride non rechargeable pris en référence ; les motorisations thermiques non hybridées ne sont plus prises en compte à cet horizon.

**On notera par ailleurs que les consommations sont différenciées selon les environnements de circulation** : un véhicule thermique consomme davantage à faibles rapports de vitesse, notamment en milieu urbain. À l'inverse, ce sont pour les vitesses élevées que les motorisations électriques sont les plus consommatrices, du fait des pertes par frottement. Enfin, on a émis l'hypothèse que les véhicules hybrides rechargeables pouvaient fonctionner entre 70 % et 90 % sur batterie en milieu urbain, contre seulement 20 % en interurbain, à vitesse plus élevée.

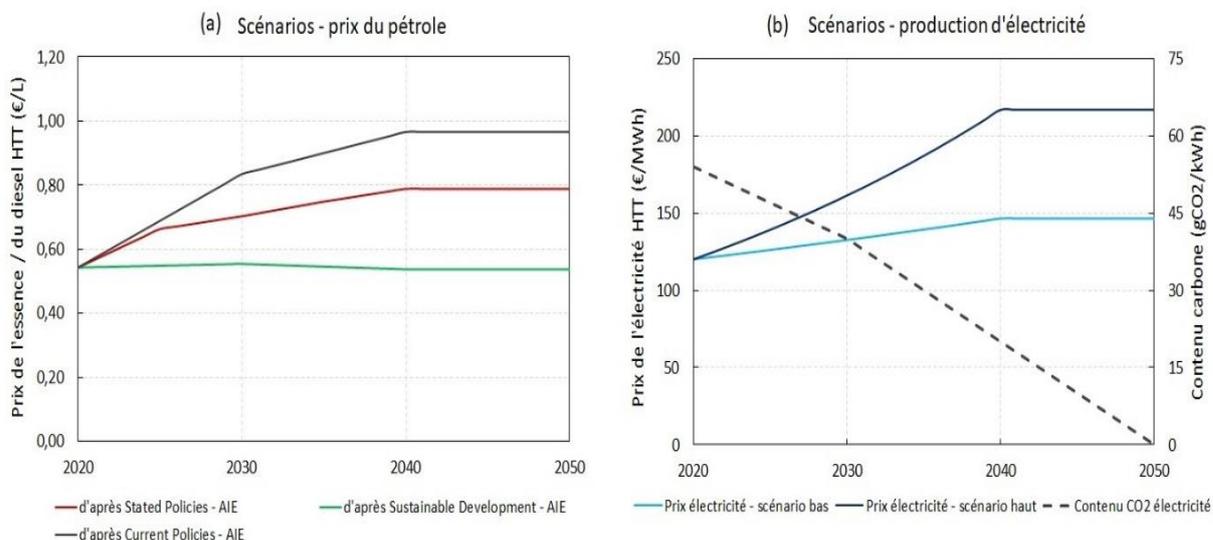
## Prix des carburants

Les calculs ont été menés avec différentes hypothèses, à la fois sur le prix des carburants fossiles et sur celui de l'électricité (voir Graphique 7 page suivante). Pour le prix hors taxes de l'essence et du diesel, les scénarios sont dérivés du WEO 2019<sup>1</sup> : en particulier, les évaluations ci-dessous s'appuient essentiellement sur les scénarios *Stated Policies* (croissance de l'ordre de 30 % entre 2020 et 2040) et *Sustainable Development* (prix en très légère décroissance sur tout l'horizon). Pour l'électricité, deux hypothèses contrastées sont retenues, avec des taux de croissance annuels de 1 % et 3 %, pour rendre compte des évolutions possibles de la consommation et de la structure du système électrique.

---

<sup>1</sup> IEA (2019), *World Energy Outlook 2019*, Paris.

**Graphique 7 – Scénarios de prix des énergies retenus, pour les carburants d'origine fossile (a) et l'électricité (b)**



Source : hypothèses exogènes, d'après WEO 2019 de l'AIE pour les fossiles

### **Fiscalité et coût d'opportunité des fonds publics (COFP)**

Les calculs proposés ici sont menés du point de vue de la collectivité, donc sans tenir compte des taxes, qui constituent des transferts entre agents. En revanche, les pertes de recettes fiscales, qui nécessiteront de mettre en place de nouveaux prélèvements ayant des effets distorsifs, sont pénalisées par un coefficient (pris à 25 %) de « coût d'opportunité des fonds publics »<sup>1</sup>. Celui-ci est appliqué à la fiscalité spécifique des carburants, en particulier les recettes de TICPE<sup>2</sup> perdues lors du passage d'une motorisation thermique à électrique, mais pas à la TVA, dont on considère qu'elle serait perçue sur l'achat de biens et services alternatifs.

### **Conditions d'usage du véhicule**

Dans un premier temps, les calculs sont menés pour un usage moyen de 13 000 km parcourus annuellement en un milieu représentatif de la répartition globale des circulations routières (Tableau 4). On étudiera ensuite des cas plus caractéristiques, afin de montrer comment le kilométrage annuel, qui impacte directement les dépenses d'énergie, et le milieu de circulation, qui impacte la consommation et le niveau des externalités locales, influent sur la valeur finale du coût d'abattement.

<sup>1</sup> On notera que l'Australie a instauré en 2020 une taxe au kilomètre pour les véhicules électriques.

<sup>2</sup> Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques.

**Tableau 4 – Répartition des circulations routières**

Milieu	Répartition du trafic / milieu
Urbain très dense	10 %
Urbain dense	12 %
Urbain	15 %
Urbain diffus	51 %
Interurbain	12 %

Source : CGDD<sup>1</sup>, Modev 2015

### **Coût des externalités**

Les externalités de la circulation routière sont nombreuses, avec parfois des coûts très élevés (Tableau 5, page suivante) : c'est notamment le cas de la congestion. En l'occurrence, comme on raisonne ici en différentiel entre deux véhicules de motorisations différentes mais d'encombrement équivalent, on ne tiendra compte que des externalités environnementales (pollution de l'air et pollution sonore). Les valeurs marchandes retenues sont issues du rapport Quinet de 2013<sup>2</sup>, mises à jour sur la base d'une compilation d'autres sources<sup>3</sup>.

En toute rigueur, dans une logique de cycle de vie, il conviendrait de prendre également en compte les externalités de pollution de l'air sur les phases amont, de production des vecteurs énergétiques (carburant ou électricité) et de la batterie ainsi que les externalités associées à l'extraction des composants utilisés dans les batteries, métaux rares et énergie grise. En raison de l'absence d'une source unifiée, on préférera ne pas en tenir compte à ce stade.

**La seule externalité qui sera réellement étudiée en cycle de vie est l'externalité climatique** : on tiendra compte des émissions associées aux cycles amont des carburants (base carbone de l'Ademe pour les énergies fossiles et hypothèse de décarbonation progressive du mix électrique présentée plus haut) ainsi qu'à la production de la batterie (Graphique 8).

<sup>1</sup> *Ibid.*

<sup>2</sup> Quinet É. (2013), *L'évaluation socioéconomique des investissements publics*, Commissariat général à la stratégie et à la prospective

<sup>3</sup> Ademe (2018), « Émissions de particules et de NOx par les véhicules routiers », *Les Avis de l'Ademe*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, mai. *Handbook Emission Factors for Road Transport (HBFEA)*, avec données accessibles [ici](#).

**Tableau 5 – Coût marchand des externalités environnementales  
(pollutions de l'air et sonore) à l'usage des différentes motorisations**

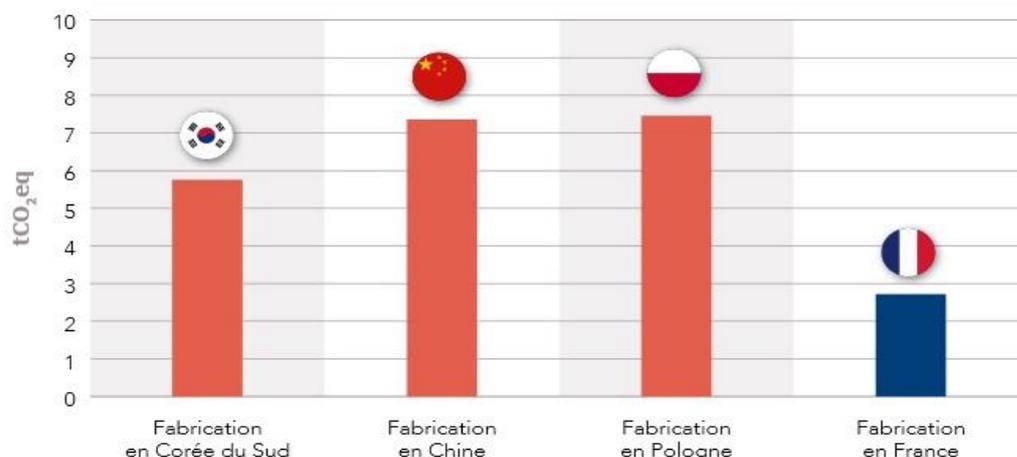
(€ <sub>2019</sub> /km)	Interurbain	Urbain diffus	Urbain dense	Urbain très dense	
<b>Pollution de l'air</b>					
Véhicule essence (1)	0,04	0,07	0,09	0,24	0,88
Véhicule hybride, en % de (1)	100 %	90 %	75 %	65 %	60 %
Véhicule hybride rechargeable, en % de (1)	80 %	60 %	40 %	20 %	10 %
Véhicule électrique, en % de (1)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
<b>Pollution sonore (coût moyen)</b>					
Véhicule essence (1')	0,23	0,39	0,68	1,09	2,01
Véhicule hybride, en % de (1')	100 %	100 %	98 %	90 %	72 %
Véhicule hybride rechargeable, en % de (1')	100 %	100 %	98 %	75 %	40 %
Véhicule électrique, en % de (1')	100 %	100 %	90 %	70 %	30 %

NB : Les externalités de la catégorie « pollution de l'air » des motorisations alternatives (en particulier hybride et hybride rechargeable) sont dérivées directement des hypothèses de consommation. Les externalités de la catégorie « pollution de l'air » des véhicules électriques sont nulles ici. Précisons qu'il ne s'agit que des émissions de polluants à l'échappement (non pas en cycle de vie, notamment liées à la production d'électricité et de la batterie) induites par la combustion du carburant. On fait l'hypothèse que les émissions par abrasion des freins et des pneus ne dépendent pas de la motorisation, bien qu'elles puissent représenter dans l'absolu une part significative des émissions, notamment de particules fines. Pour les externalités sonores, les hypothèses proposées tiennent compte du moteur utilisé ainsi que de la vitesse moyenne approximative de circulation dans le milieu (qui a un impact direct sur les déterminants sonores principaux – en particulier, fonctionnement du moteur ou frottement des pneus sur la chaussée).

Source : calculs d'après CGSP (rapport Quinet 2013 et contribution spécifique de G. Ducos<sup>1</sup>), HBEFA, Ademe et réglementation RDE

<sup>1</sup> CGSP (2014), *Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique*, contribution de G. Ducos au tome II du rapport *L'évaluation socioéconomique des investissements publics*, Commissariat général à la stratégie et à la perspective, février.

**Graphique 8 – Analyse de cycle de vie d'une batterie actuelle de 40 kWh selon le lieu de fabrication (hors prise en compte du recyclage)**



Source : RTE<sup>1</sup>

### **Coût des infrastructures de recharge**

La question de l'identification des besoins n'est pas résolue. Elle reste liée aux évolutions conjuguées des technologies véhicules (autonomie des batteries, puissance et temps de rechargement selon les bornes de recharge) et des pratiques des automobilistes. Dans tous les cas cependant, la constitution progressive d'un réseau d'infrastructures de recharge sera un axe essentiel de l'électrification du parc et doit être prise en compte dans le calcul des coûts d'abattement à travers un coût d'investissement initial additionnel.

Le coût de déploiement d'une borne de recharge est difficile à estimer car fortement dépendant des conditions de site. On fera l'hypothèse qu'un véhicule électrique nécessite l'installation d'une borne à domicile (dont le coût total est évalué à 1 000 euros) ainsi que d'une borne sur le lieu professionnel, partagée entre deux et trois véhicules par point de charge (soit 1 500 euros environ pour une borne à deux points de charge dont le coût moyen est estimé entre 8 000 et 10 000 euros). Cette hypothèse se veut représentative du besoin en infrastructure qu'induit la mise en circulation d'un véhicule électrique. On renchérit donc le coût d'investissement initial à l'achat d'un véhicule électrique de 3 000 euros<sup>2</sup> et de 1 000 euros pour un véhicule hybride rechargeable, en considérant que dans ce cas les besoins de recharge peuvent être globalement satisfaits par une unique borne à domicile.

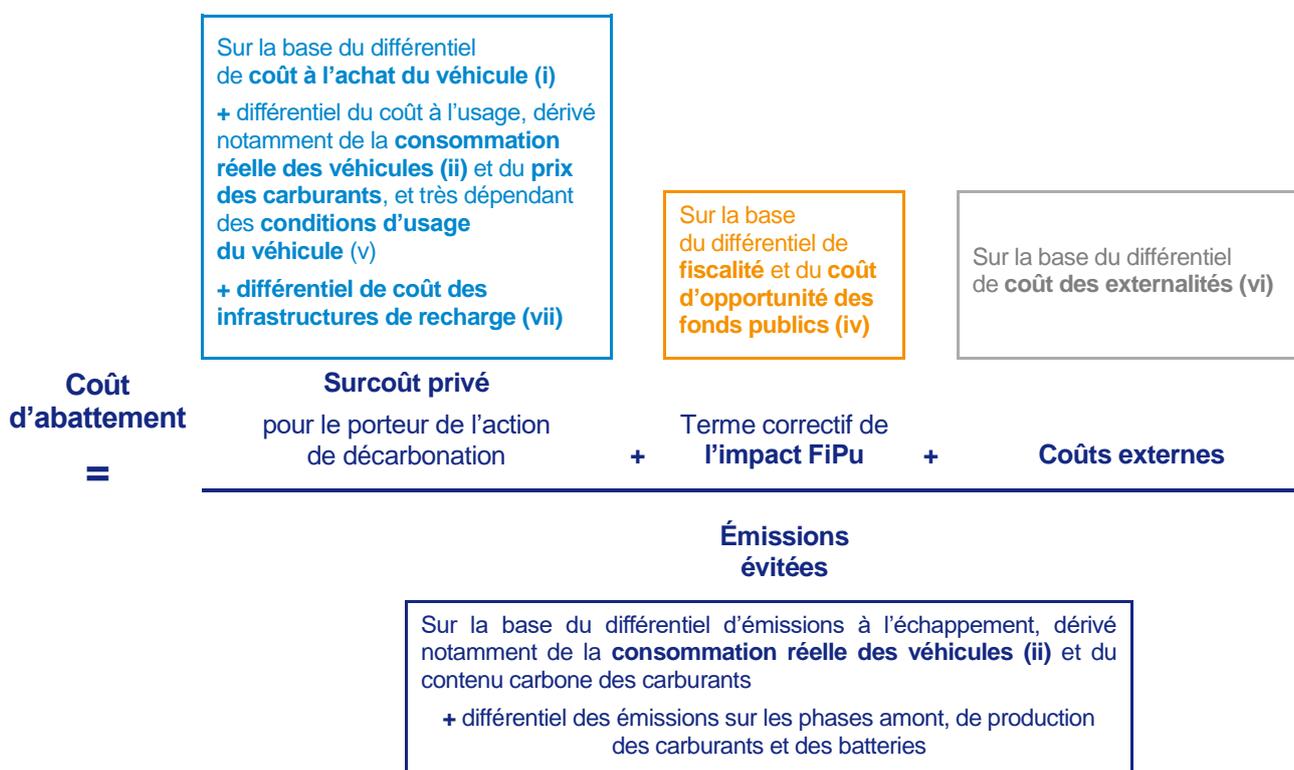
<sup>1</sup> RTE (2019), *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique. Principaux résultats*, Réseau de transport d'électricité, mai.

<sup>2</sup> En cohérence avec l'étude « *Analyse coûts-bénéfices des véhicules électriques. Les voitures* » (CGDD, 2017, *op. cit.*).

Ce poste de coût est amené à diminuer fortement à mesure que le réseau sera constitué. La composante de coût d'infrastructure a ainsi vocation à progressivement s'effacer dans le calcul du coût d'abattement. En toute rigueur, on pourrait aussi ne compter que partiellement ce coût d'infrastructure dans les calculs de coût d'abattement aux horizons proches (2020-2030) pour rendre compte du fait que ces aménagements ne contribuent pas uniquement à la mise en circulation d'un véhicule aujourd'hui, mais globalement à une transformation du système d'infrastructures de la mobilité automobile.

### 3. Les coûts d'abattement mesurés « en budget carbone »

En résumé, et en cohérence avec la *Partie 1 – Méthodologie*, la formule de calcul des coûts d'abattement fait intervenir les composantes et paramètres détaillés ci-dessus de la manière suivante :



#### Cas de référence

Les calculs sont menés pour un usage moyen (13 000 km annuels, en milieu mixte), avec un prix des carburants fossiles qui suit le scénario *Sustainable Development* de l'AIE et l'hypothèse haute de prix de l'électricité. Cela en faisant l'hypothèse d'un développement général de la mobilité électrique, qui exercera une pression à la baisse du prix international du pétrole, et qui impactera à la hausse la demande et le prix de l'électricité en France.

Les coûts d'abattement présentés dans cette section sont calculés « en budget carbone » (voir la [Partie 1 – Méthodologie](#)) : autrement dit, les émissions de CO<sub>2</sub> au dénominateur ne sont pas actualisées et les coûts d'abattement obtenus ne peuvent pas être directement comparés à la VAC.

Pour bien comprendre l'influence de chacune des composantes dans le coût d'abattement final, les résultats sont systématiquement décomposés en faisant apparaître (Graphique 9) :

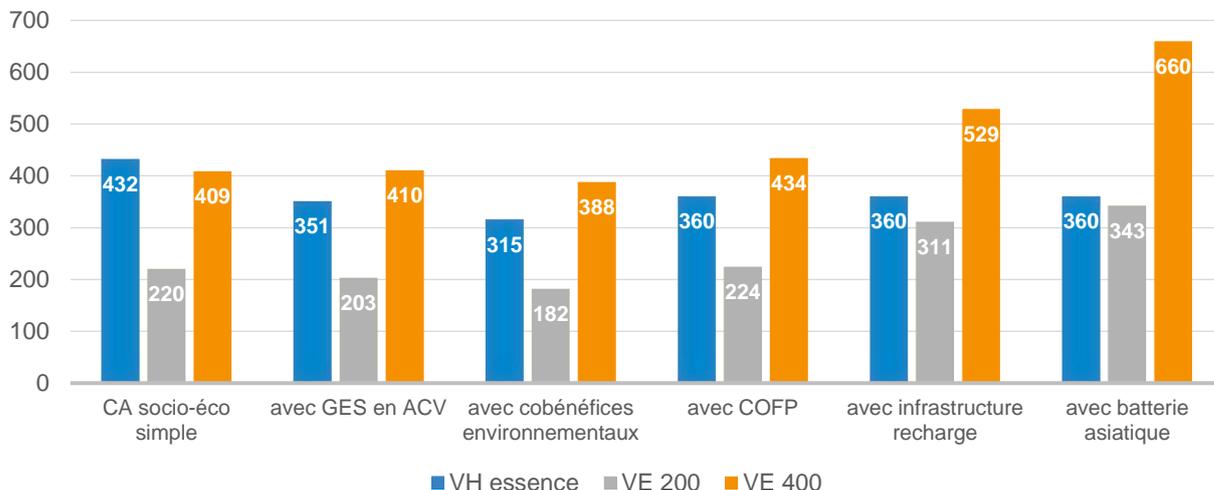
1. **le coût d'abattement socioéconomique simple**, calculé sur la base du différentiel de coût marchand (coût d'achat du véhicule et dépenses de carburant), rapporté au différentiel d'émissions de GES à l'échappement du véhicule, sur l'ensemble de sa durée de vie ;
2. le coût d'abattement modifié de telle sorte qu'on intègre le **différentiel d'émissions évitées sur l'ensemble du cycle de vie**, en particulier les émissions sur les cycles amont des carburants (fossiles mais également production d'électricité) et celles associées à la production de la batterie. En l'occurrence, on se placera ici dans l'hypothèse de batteries produites en France : leur contenu carbone baisse progressivement avec celui du mix électrique, mais modérément compte tenu d'un mix initial déjà fortement décarboné ;
3. le coût d'abattement qui intègre le **différentiel d'externalités environnementales**, en particulier de pollution de l'air et de pollution sonore ;
4. le coût d'abattement qui tient compte du **différentiel de recettes fiscales spécifiques associé au passage du véhicule thermique à une motorisation à basse ou zéro émission**, pénalisé par le COFP. Ce coût d'abattement donne donc une information à système fiscal donné, en l'occurrence dans le contexte actuel où l'électricité utilisée pour alimenter un véhicule n'est pas soumise à une taxe équivalente à la TICPE<sup>1</sup> ;
5. le coût d'abattement qui intègre le **coût d'investissement initial additionnel associé à l'infrastructure de recharge** ;
6. le coût d'abattement dans lequel **on modifie l'hypothèse concernant le lieu de fabrication de la batterie**, en supposant désormais que celle-ci est importée d'un pays asiatique (typiquement Chine ou Corée du Sud) et donc que le mix électrique utilisé pour la produire a un contenu carbone moyen de l'ordre de 600 gCO<sub>2</sub>/kWh.

Cette décomposition est illustrée pour le calcul des coûts d'abattement en 2020 du passage d'une motorisation thermique essence à une motorisation hybride essence (non rechargeable) ou électrique, avec une autonomie de l'ordre de 400 km pour un véhicule de type citadin en usage « moyen ». On remarquera dans cet exemple la grande dispersion des résultats (Graphique 9).

---

<sup>1</sup> Dans le cas où une fiscalité nouvelle sur les véhicules à faibles ou zéro émissions serait mise en œuvre pour compenser strictement les pertes de TICPE, les coûts d'abattement (3) et (4) seraient identiques.

**Graphique 9 – Coût d’abattement en 2020, selon les paramètres intégrés, du passage d’une motorisation thermique à une motorisation hybride ou électrique (segment A/B, usage « moyen »)**

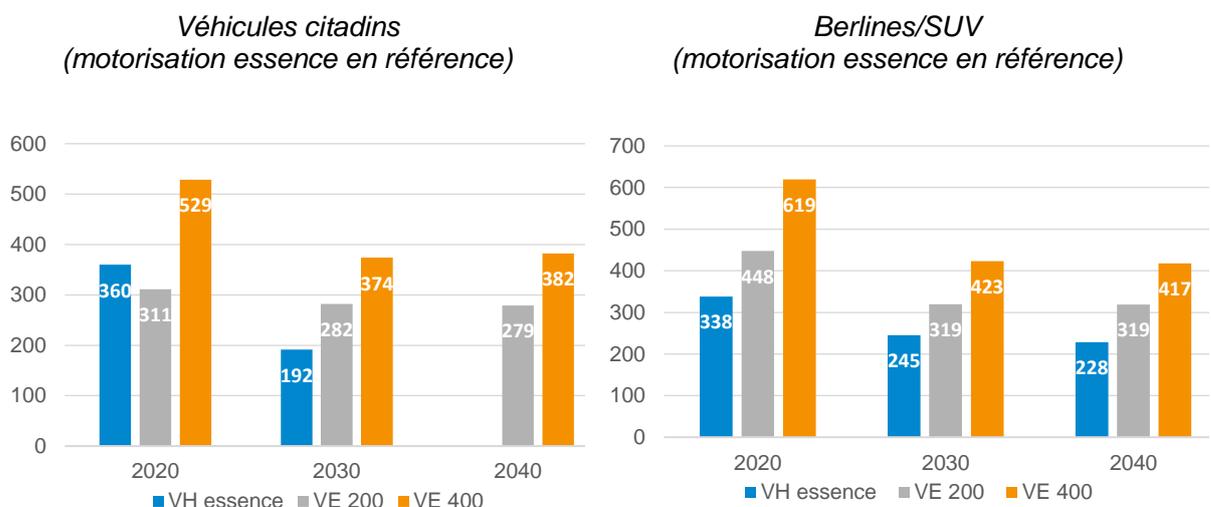


Légende : CA socio-éco simple : avec émissions en échappement ; Avec GES en ACV : intègre les émissions de la phase amont des carburants fossile, de la production d’électricité et de la production des batteries ; Avec cobénéfices environnementaux : intègre la réduction de la pollution de l’air et de la pollution sonore ; Avec COFP : intègre le coût d’opportunité des fonds publics, associé à la perte de recettes fiscales sur les carburants.

N.B. Dans le cas du véhicule hybride (non rechargeable), on ne tient pas compte de l’impact de la production de la batterie compte tenu de sa faible capacité et on ne calcule pas de coût d’abattement avec coût de l’infrastructure de recharge (dans la mesure où le chargement de la batterie s’opère par le biais du moteur à combustion et non par branchement sur le réseau).

Source : calculs des auteurs

**Graphique 10 – Coûts d’abattement pour les différentes motorisations alternatives étudiées, aux différents horizons de temps, pour un usage « moyen » (coût d’abattement total)**



Source : calculs des auteurs

**La disparité des coûts d'abattement entre les différentes motorisations est modérée**, même si le véhicule électrique à autonomie limitée (sur le segment des « citadines ») et le véhicule hybride rechargeable (sur le segment des « berlines/SUV ») présentent les indicateurs les plus favorables. Il apparaît clairement que les véhicules électriques à forte autonomie sont pénalisés par un surcoût d'investissement élevé et par un surcroît d'émissions à la fabrication de la batterie, si elle est produite à partir d'un mix électrique carboné.

**Les coûts d'abattement présentés ici sont globalement stables dans le temps.** Cela s'explique notamment par les évolutions croisées des différentes hypothèses dans le temps : la baisse des prix des véhicules hybrides rechargeables et électriques et la hausse de celui des motorisations thermiques sont compensées respectivement par la hausse du prix de l'électricité et par les gains d'efficacité énergétique des moteurs thermiques.

#### **Encadré 2 – Surcoût privé et coût d'abattement socioéconomique**

Le coût d'abattement socioéconomique ne rend pas compte du coût pour l'acteur privé, pour plusieurs raisons :

- le taux d'actualisation de l'acteur privé est sans doute beaucoup plus élevé que le taux d'actualisation socioéconomique. Pour l'achat d'un véhicule, il est raisonnable de supposer que l'horizon de décision de l'individu est compris entre quatre et huit ans (c'est-à-dire que la rentabilité relative des différentes motorisations est évaluée sur les quatre à huit premières années d'utilisation), ce qui peut se traduire par un taux d'actualisation allant de 11 % à 33 % ;
- le prix d'achat du véhicule peut être diminué par des subventions publiques (type bonus à l'achat) qui sont neutres dans le calcul du coût d'abattement ;
- de même, dans le calcul de son coût total de possession, l'acteur privé intègre les taxes sur les carburants, qui n'apparaissent dans le coût d'abattement que *via* le COFP.

#### **Impact des scénarios énergétiques**

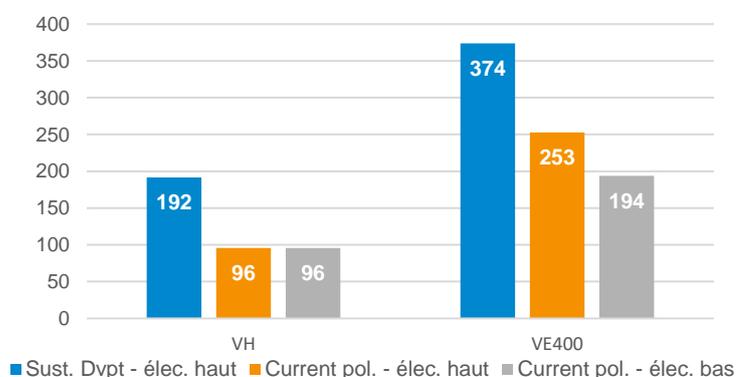
Les coûts d'abattement sont significativement dépendants du cadrage énergétique (Graphique 11). On illustre cet aspect sur les cas des motorisations hybride essence et électrique (à haute autonomie, 400 km) pour les véhicules citadins en 2030, en modifiant successivement les hypothèses sur le prix de l'essence, puis celui de l'électricité. Ainsi :

- dans le cas de la motorisation hybride, on remarque naturellement que seule l'hypothèse sur les prix du pétrole a une influence (la batterie des modèles hybrides

non rechargeables est alimentée par le fonctionnement du moteur thermique et non par branchement direct sur le réseau) ;

- pour le véhicule électrique à haute autonomie, le passage du scénario (pour les prix du pétrole) *Sustainable Development* au *Current Policies* de l'AIE (environ 50 % plus élevé en 2030, près de deux fois supérieur en 2050) réduit le coût d'abattement socioéconomique total d'environ 100 € / tCO<sub>2</sub> (soit de l'ordre de 25-30 %) ; le passage au scénario bas des prix de l'électricité (30 % inférieur en 2040) réduit encore le coût d'abattement de 50 € / tCO<sub>2</sub>.

**Graphique 11 – Coûts d'abattement en 2030 pour les véhicules citadins (motorisation essence en référence) selon les scénarios énergétiques retenus**



Note : en bleu, le scénario *Sustainable Development* de l'AIE (prix haut de l'électricité) ; en orange, le scénario *Current Policies* de l'AIE (prix haut de l'électricité) et en gris le scénario *Current Policies* (prix bas).

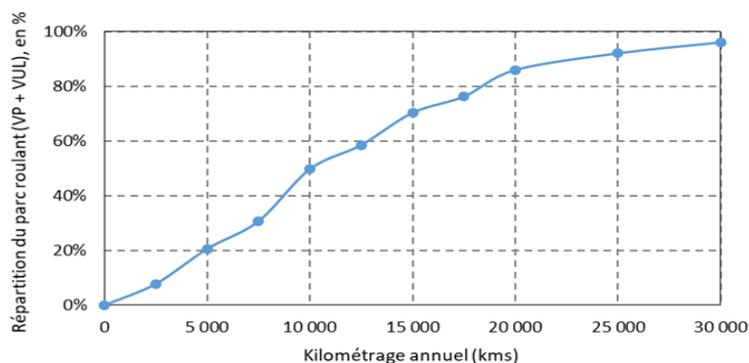
Source : calculs des auteurs

### **Impact du kilométrage et du milieu de circulation**

Les résultats présentés ci-dessus concernent un usage moyen, avec un kilométrage annuel de 13 000 km dans un milieu d'urbanisation représentatif de la répartition des circulations routières. Or l'ensemble du parc de véhicules est en réalité utilisé pour des usages divers :

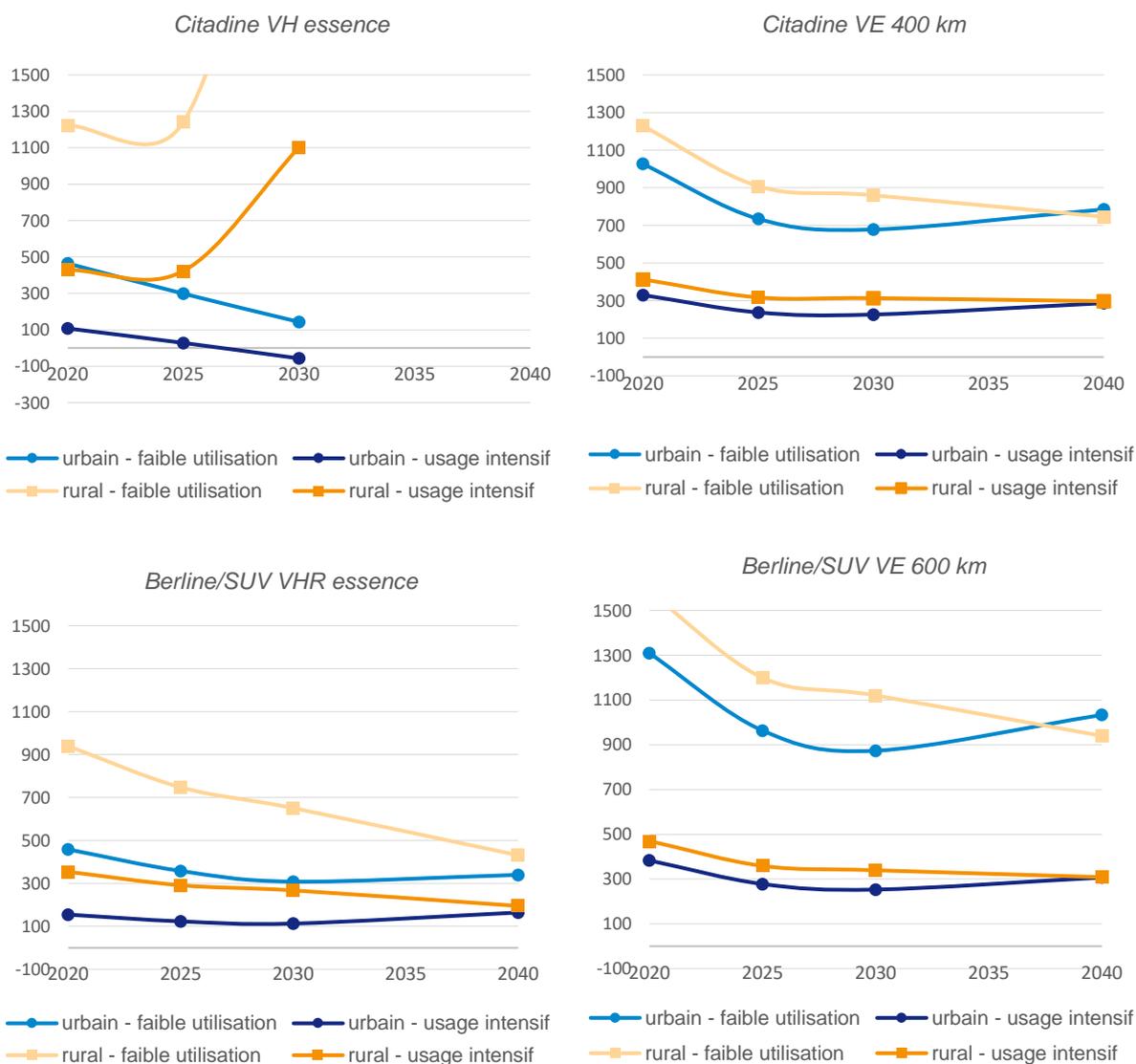
- en ce qui concerne le kilométrage annuel (Graphique 12), environ 25 % des véhicules parcourent moins de 7 000 km par an, quand 25 % parcourent plus de 17 000 km. L'intensité avec lequel le véhicule est utilisé a une incidence directe sur les réductions de dépenses de carburant permises par le passage à une motorisation alternative, et donc sur le coût d'abattement associé à ces motorisations ;
- en ce qui concerne le milieu de circulation (plus ou moins urbanisé, voir Tableau 2 plus haut), il influe sur la consommation de carburant (donc sur les réductions de dépenses espérées) mais surtout sur les externalités associées à l'usage du véhicule.

**Graphique 12 – Répartition du parc français de véhicules légers par kilométrage annuel**



Source : ENT D 2008

**Graphique 13 – Disparité des coûts d'abattement selon l'intensité de l'usage et le milieu de circulation aux différents horizons des temps considérés**



Source : calculs des auteurs

On remarquera que les coûts d'abattement du véhicule hybride non rechargeable ont tendance à diverger à l'horizon 2025-2030 pour les usages en milieu rural peu dense. Avec l'amélioration des caractéristiques du véhicule essence pris en référence, les consommations de carburant convergent ; les émissions évitées sont plus faibles, *a fortiori* pour un véhicule qui roule peu. Cette réduction du dénominateur se traduit par une très forte augmentation du coût. Plus le véhicule est utilisé dans des milieux urbains denses, plus la pollution de l'air et la pollution sonore induites par les motorisations thermiques sont importantes.

Les quatre cas types représentés sur le Graphique 13, pour le segment des « citadines » comme celui des « berlines/SUV », illustrent bien ce constat :

- les coûts d'abattement sont les plus élevés pour un usage peu intensif, en milieu rural peu dense, en particulier pour les véhicules électriques à haute autonomie, *a priori* peu adaptés à un usage peu intensif et dont le surcoût est élevé. À l'inverse, pour des véhicules intensément utilisés en milieu urbain (pour des activités de logistique par exemple), les coûts d'abattement sont faibles ;
- les cas intermédiaires montrent bien que l'intensité d'usage a un impact de premier ordre sur le niveau du coût d'abattement. Moins déterminant, le milieu de circulation intervient davantage comme un effet multiplicateur. L'utilisation en milieu urbain accentue la rentabilité socioéconomique d'une motorisation alternative sur un usage intensif, sans être vraiment suffisante pour justifier un changement de motorisation pour un usage peu intensif.

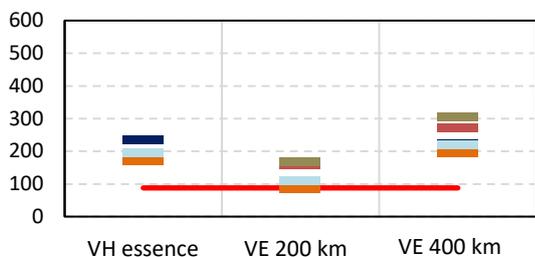
#### 4. Comparaison des coûts d'abattement à la valeur de l'action pour le climat

Si on souhaite positionner ces technologies dans la stratégie de décarbonation française et comparer les coûts d'abattement à la valeur de l'action pour le climat, il est nécessaire de calculer des coûts d'abattement « ajustés à la VAC » (voir la [Partie 1 – Méthodologie](#)). Ces calculs montrent que toutes les motorisations ont un bilan positif du point de vue de la collectivité à moyen terme.

**Graphique 14 – Coûts d'abattement ajustés à la VAC (en €/tCO<sub>2</sub>)**

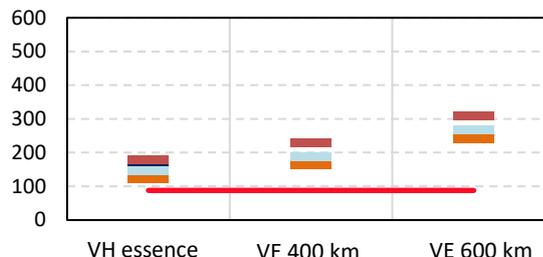
Coûts d'abattement pour les véhicules citadins  
(motorisation essence\* en référence)

En 2020

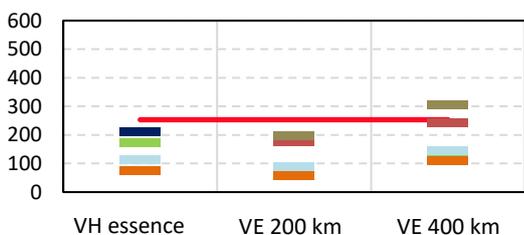


Coûts d'abattement pour les berlines/SUV  
(motorisation essence\* en référence)

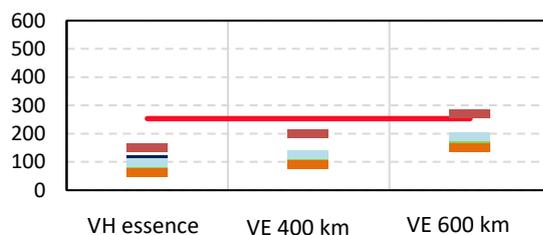
En 2020



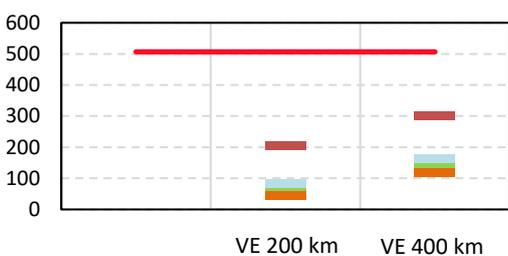
En 2030



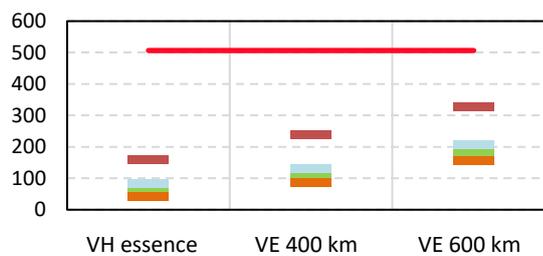
En 2030



En 2040



En 2040



- Coût abattement (financier) simple
- avec cobénéfices environnementaux
- avec infrastructure de recharge
- VAC Quinet (2019)
- avec émissions de GES en ACV
- avec COFP
- avec batterie produite en Asie

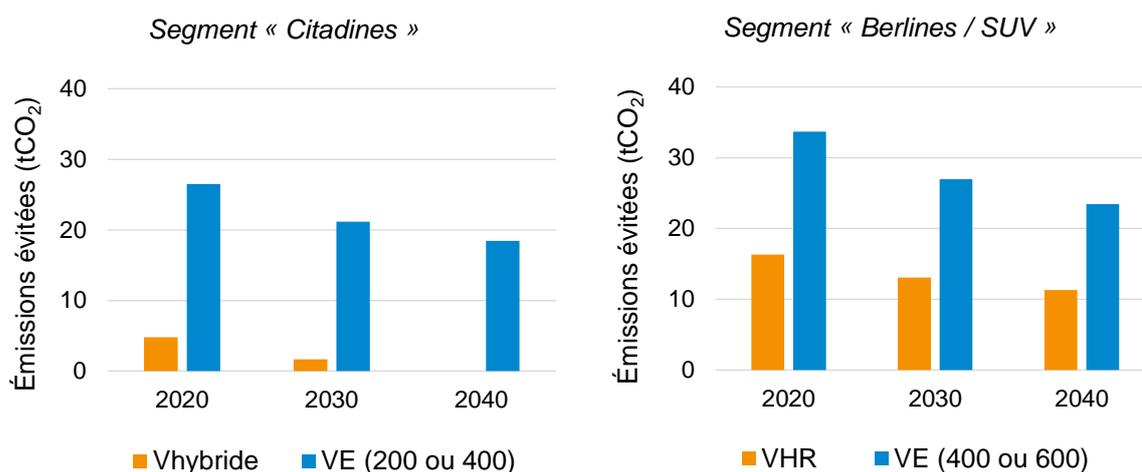
Source : calculs des auteurs

Cette conclusion est néanmoins sensible au scénario de prix de l'énergie retenu pour l'évaluation du coût d'abattement, ainsi qu'aux hypothèses d'usage du véhicule. Les variations du coût d'abattement selon le scénario de prix de l'énergie influent également sur la rentabilité des actions : ainsi pour le véhicule électrique à haute autonomie dans le scénario « *current policies* – électricité bas », le coût d'abattement passe sous la valeur de l'action pour le climat, ce qui modifie les conclusions quant à la rentabilité socioéconomique de la technologie à l'horizon 2030. De même, selon l'usage du véhicule, la rentabilité socioéconomique peut être atteinte plus tôt : pour des véhicules intensément utilisés en milieu urbain (pour des activités de logistique par exemple), les coûts d'abattement sont inférieurs à la VAC au plus tard en 2025.

## 5. Volume des potentiels d'abattement

Comme expliqué dans la *Partie 1 – Méthodologie*, si le coût d'abattement permet d'évaluer la pertinence socioéconomique des potentiels, l'information est incomplète pour la formulation des stratégies. En effet, quand bien même le coût d'abattement d'une action est inférieur à la valeur de l'action pour le climat, rien ne garantit que celle-ci induit des réductions d'émissions suffisantes en volume pour satisfaire les trajectoires de baisse sous-jacentes à la SNBC et aux objectifs climatiques nationaux.

**Graphique 15 – Potentiel moyen d'abattement carbone des motorisations alternatives, sur le cycle de vie d'un véhicule et par rapport à un véhicule thermique neuf (hybridé en 2040)**



Source : calcul des auteurs

Dans cette perspective, il est intéressant de croiser l'indicateur de coût d'abattement (pour l'efficacité) avec un indicateur de volume abattu (pour l'efficacité dans la poursuite de la stratégie). Le graphique 15 représente le volume des émissions que les différentes

motorisations alternatives permettent d'éviter, par rapport à un véhicule thermique neuf, sur le cycle de vie d'un véhicule et aux différents horizons de temps. On notera que les réductions permises par les motorisations alternatives sont logiquement décroissantes puisque dans le scénario de référence l'efficacité énergétique des véhicules thermiques s'améliore au cours du temps.

Il apparaît que les réductions d'émissions permises par un véhicule hybride rechargeable sont de l'ordre de deux fois inférieures à celles permises par un véhicule 100 % électrique. Indépendamment de la hiérarchie des coûts d'abattement, ce résultat conditionne fortement l'intérêt relatif des différentes technologies dès lors qu'on se place dans une perspective de long terme. Dans la mesure où la SNBC prévoit une décarbonation complète des transports terrestres à l'horizon 2050, elle implique de privilégier à cet horizon les technologies qui réduisent le plus les émissions résiduelles des véhicules.

En conséquence, parmi les technologies étudiées ci-dessus, et dès lors qu'elles présentent toutes un bilan socioéconomique positif à l'horizon 2030 au plus tard, une priorité claire doit être donnée aux motorisations 100 % électriques. Les motorisations hybrides (surtout non rechargeables) ont donc essentiellement un rôle transitoire à jouer, ne permettant qu'une baisse des émissions à court terme. Cela concerne en particulier les usages pour lesquels les motorisations électriques demeureront non compétitives à moyen terme, notamment les usages nécessitant une autonomie importante.

## 6. Le cas des véhicules électriques à l'hydrogène

Sans entrer dans le détail des potentiels de décarbonation associés à un déploiement de l'hydrogène (traité dans la partie dédiée), on donnera ci-dessous une première évaluation d'une application possible de l'hydrogène dans le domaine des transports. À court et moyen terme, le fait que ce type de motorisation induise une masse embarquée conséquente pour le stockage implique qu'il est actuellement davantage identifié pour décarboner des modes de transport plus lourds, que ce soit le fret routier ou le ferroviaire.

Néanmoins, on examinera ici le cas de gros véhicules particuliers. En effet, l'hydrogène peut sur le long terme constituer une alternative aux motorisations électriques (hybrides ou non) étudiées plus haut, en apportant notamment des réponses plus simples aux enjeux d'autonomie, de rapidité de la recharge et de criticité des matériaux.

### ***Production et coût de l'hydrogène***

Si les émissions de CO<sub>2</sub> d'une motorisation électrique hydrogène sont nulles à l'échappement, sur le cycle de vie le potentiel de décarbonation de la technologie dépend

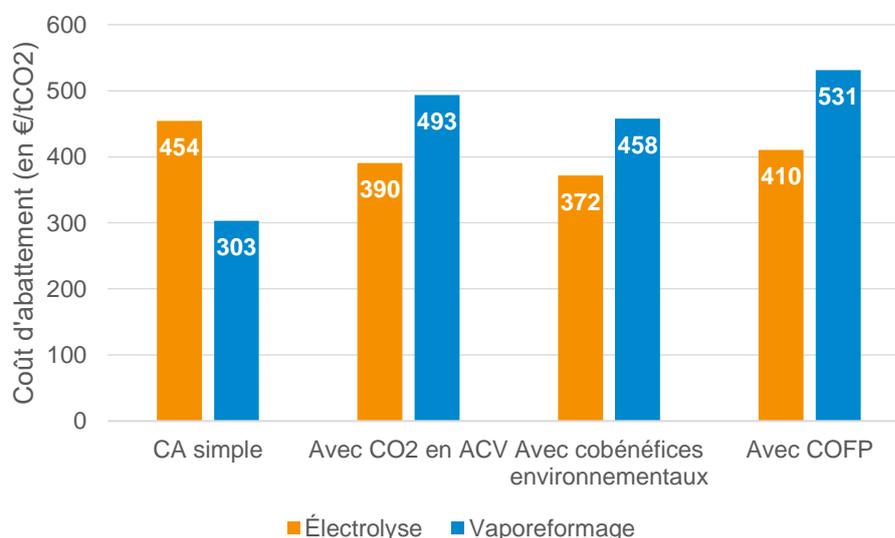
en premier lieu de la manière dont l'hydrogène est produit. On retiendra ici deux cas distincts, à titre illustratif :

- une production d'hydrogène par vaporeformage du méthane, significativement émettrice (9 kgCO<sub>2</sub> / kgH<sub>2</sub>), pour un coût compris entre 1 et 4 € / kgH<sub>2</sub> ;
- une production d'hydrogène par électrolyse de l'électricité, significativement moins émettrice (1 kgCO<sub>2</sub> / kgH<sub>2</sub>), en contrepartie d'un coût plus élevé (12 € / kgH<sub>2</sub>) mais potentiellement décroissant compte tenu du progrès technologique attendu (de 40 % à 75 % d'ici 2030).

### Coût du véhicule et investissements

En ce qui concerne le coût des véhicules à motorisation hydrogène (segments C et D ou SUV), on considère qu'il est aujourd'hui de l'ordre de 60 000 à 80 000 euros. Contrairement aux technologies discutées plus haut et dont le développement est avancé, on raisonnera ici à partir d'hypothèses contrastées sur le progrès technologique, pour évaluer dans quelle mesure cette motorisation pourrait être compétitive aux horizons 2030 ou 2040.

**Graphique 16 – Décomposition du coût d'abattement de la motorisation hydrogène (vs. essence hybridée) pour un véhicule « berline/SUV » en 2040 selon le mode de production de l'hydrogène**



Légende : CA simple : avec émissions en échappement ; Avec CO<sub>2</sub> en ACV : intègre les émissions de la phase amont des carburants fossile, de la production d'électricité et de la production des batteries ; Avec cobénéfices environnementaux : intègre la réduction de la pollution de l'air et de la pollution sonore ; Avec COFP : intègre le coût d'opportunité des fonds publics, associé à la perte de recettes fiscales sur les carburants.

Source : calcul des auteurs

Les coûts d'abattement ci-dessus (Graphique 16) sont calculés avec une hypothèse de baisse de 40 % du coût d'acquisition du véhicule à motorisation hydrogène par rapport à 2020. L'évolution des prix des carburants fossiles est dérivé du scénario *Stated Policies* de l'AIE.

En revanche, on ne tiendra pas compte pour cette motorisation du coût nécessaire au déploiement de l'infrastructure de recharge, d'une part parce que le niveau de ramification du réseau de ravitaillement nécessaire est beaucoup plus limité. En effet, compte tenu de l'autonomie des véhicules et du temps de recharge, le nombre de points de ravitaillement nécessaires augmenterait progressivement et probablement dans des infrastructures actuellement associées aux carburants fossiles. D'autre part, le déploiement d'un réseau hydrogène doit en tout état de cause être pensé dans une approche systémique des différents usages de l'hydrogène. Néanmoins, les coûts retenus pour l'hydrogène intègrent bien les coûts de transport et de distribution.

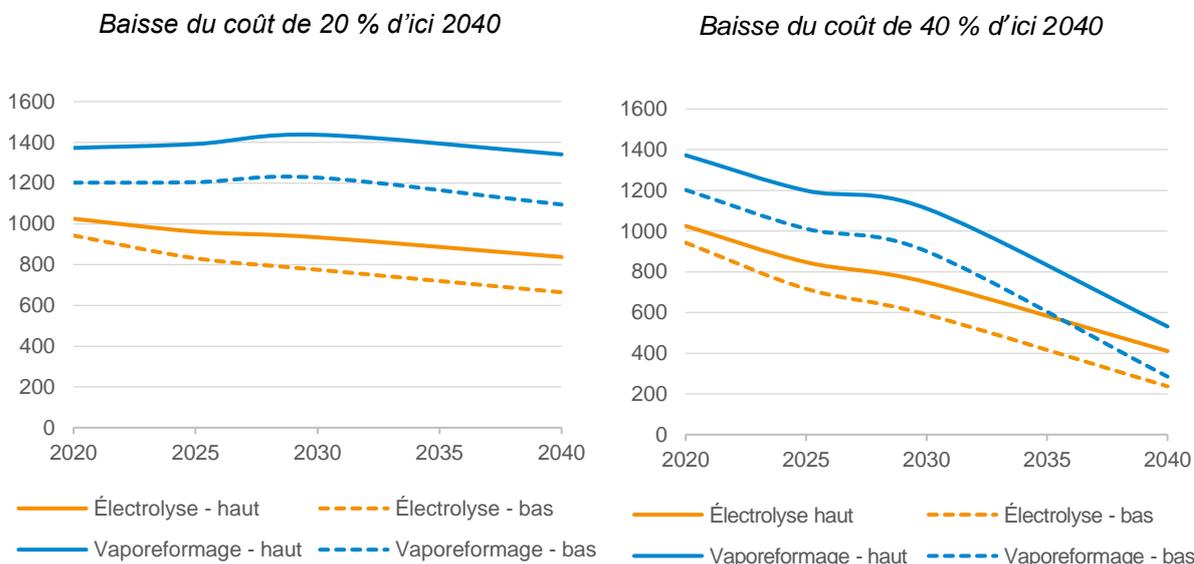
### **Autres externalités**

Le véhicule à hydrogène est avant tout un véhicule électrique dans lequel la batterie est remplacée par une pile à combustible. En ce qui concerne les externalités de l'usage de ce véhicule, on peut considérer qu'elles sont équivalentes à celles des motorisations électriques à batterie, en particulier s'agissant de la moindre pollution sonore par rapport à un véhicule thermique et des émissions de polluants atmosphériques nulles à l'échappement.

Comme pour les motorisations étudiées plus haut, on observe la manière dont la prise en compte des différentes composantes modifie le résultat du coût d'abattement final. On note en particulier que la prise en compte des émissions en cycle de vie (option « avec CO<sub>2</sub> en ACV » sur le graphique 16) augmente très fortement le coût d'abattement du véhicule hydrogène lorsque celui-ci est produit à partir de vaporeformage : les émissions associées à la production d'hydrogène à partir de méthane sont en effet plus importantes que celles associées à la production-raffinage du carburant thermique ; à l'inverse, le coût d'abattement du véhicule hydrogène est plus faible quand celui-ci est produit par électrolyse à partir d'électricité décarbonée.

Comme pour les précédentes motorisations électrifiées, le coût d'abattement baisse après intégration des cobénéfices environnementaux (moindre pollution de l'air et réduction des nuisances sonores) mais il est dégradé par la prise en compte du coût d'opportunité des fonds publics, si l'hydrogène n'est pas soumis à une fiscalité spécifique additionnelle à la TVA.

**Graphique 17 – Évolution du coût d'abattement de la motorisation hydrogène de véhicules « berlines/SUV » (vs. une motorisation essence) selon la baisse de coût du véhicule**



NB : L'évolution des prix des carburants fossiles en référence est toujours dérivé du scénario *Stated Policies* de l'AIE. Les bandes de coûts d'abattement illustrent la variabilité en fonction du coût de production de l'hydrogène (quelle que soit la méthode, vaporeformage ou électrolyse, les calculs étant conduits successivement avec les hypothèses hautes et basses).

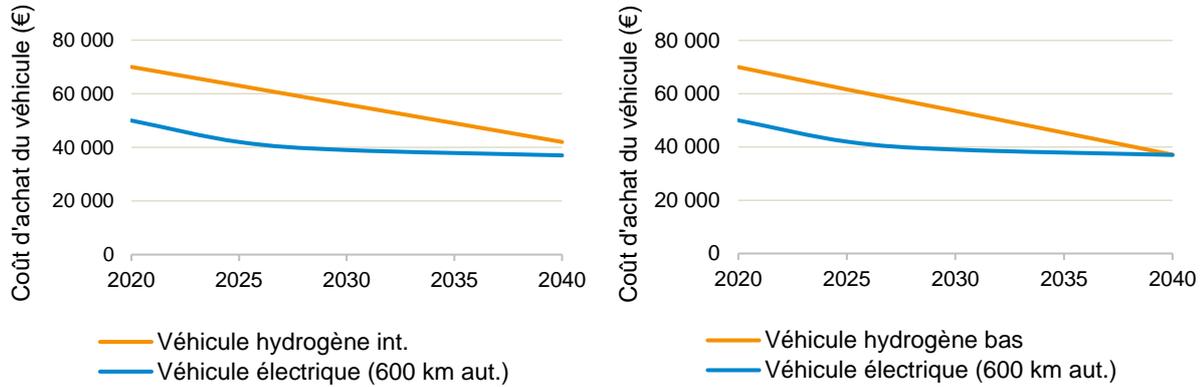
Source : calcul des auteurs

### **Conditions d'émergence et compétition avec les véhicules électriques à batteries**

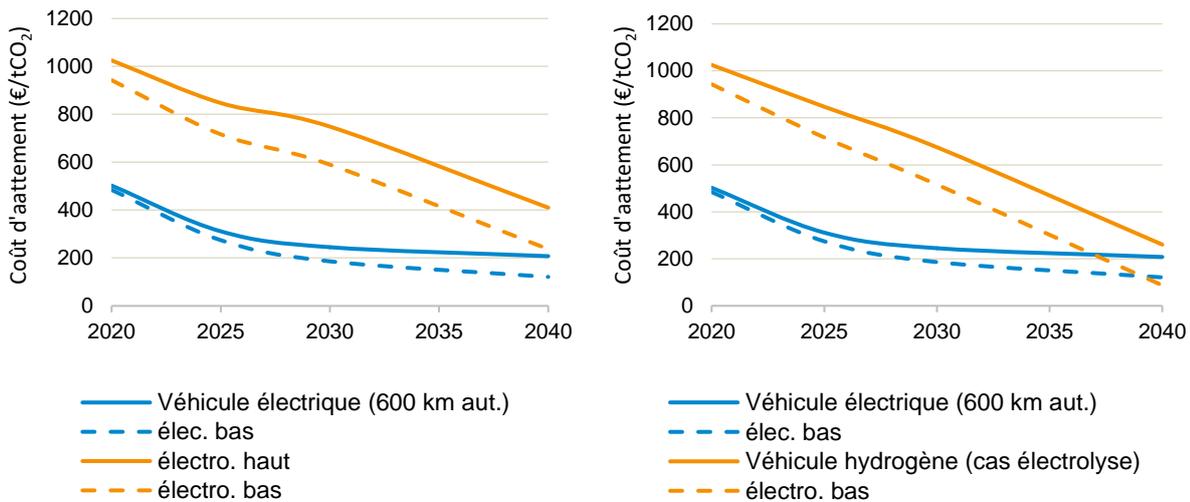
Pour illustrer la compétition du véhicule hydrogène avec le véhicule électrique à batteries, actuellement à un stade de développement plus avancé, on représente sur un même graphique (Graphique 18) les coûts d'abattement associés à l'achat d'un véhicule hydrogène et d'un véhicule électrique (haute autonomie, 600 km) par rapport à un véhicule thermique de référence (type berline/SUV), dans un même contexte de prix des énergies fossiles (scénario type *Stated Policies* de l'AIE). Les coûts d'abattement sont représentés pour une fourchette de coût de production de l'hydrogène par électrolyse d'une part, et de prix de l'électricité d'autre part (scénarios polaires exposés plus haut pour chacun des paramètres).

**Graphique 18 – Coûts d'abattement des motorisations hydrogène et électrique à batteries de véhicules « berlines/SUV » (vs. une motorisation essence) entre 2020 et 2040, selon la baisse de coût des technologies**

*Hypothèses sur les coûts d'achat des véhicules*



*Coûts d'abattement obtenus*



Source : calcul des auteurs

En première approche, les résultats ci-dessus indiquent qu'une réduction par 4 d'ici 2040 de l'écart de coût à l'achat actuel entre véhicules hydrogène et véhicules électriques à batteries devrait permettre aux premiers de devenir compétitifs. Sous les hypothèses de progrès technologique (notamment de baisse du prix des batteries) retenues ici, cela supposerait que le prix des véhicules hydrogène soit réduit de 40 % environ d'ici 2040. Si les coûts d'achat convergent, le coût d'abattement du véhicule hydrogène pourrait même devenir inférieur à celui du véhicule à batteries. Ces baisses de coûts paraissent très importantes, mais on notera que, compte tenu des très faibles volumes produits

jusqu'à aujourd'hui, d'importants effets d'apprentissage et d'échelle de production sont encore à attendre, en plus des développements technologiques envisageables.

Néanmoins, au regard des hypothèses formulées, on peut discuter ces résultats dans une double perspective :

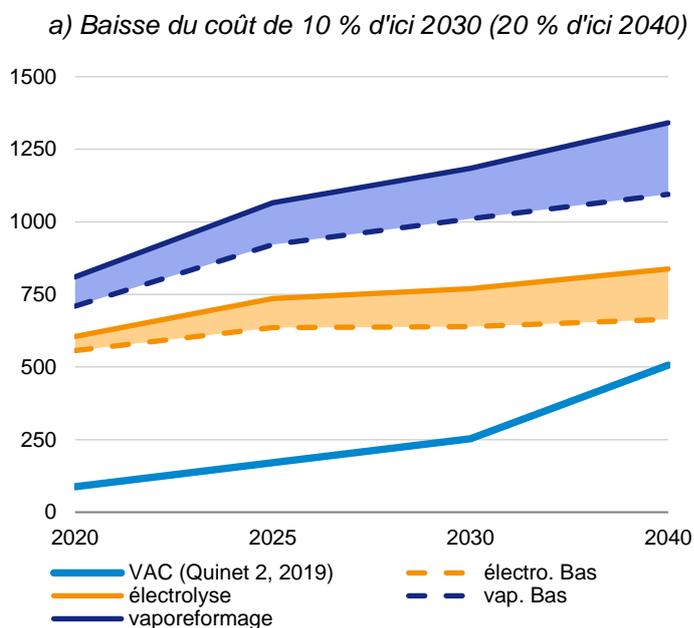
- d'une part, la comparaison proposée fait l'hypothèse implicite que les usages d'un véhicule électrique et hydrogène seraient similaires, et notamment que l'autonomie et le temps de charge ne seront plus pénalisants pour les véhicules électriques aux horizons de temps considérés. Or on ne peut écarter l'idée que l'hydrogène conserverait un avantage comparatif en matière de rapidité de la recharge et d'autonomie atteignable à coût comparable ;
- d'autre part, le fait de ne pas intégrer le coût du déploiement des infrastructures de recharge dans la comparaison des coûts d'abattement est une limite importante, dont l'effet semble ambivalent. L'existence d'un réseau déjà très développé constitue un avantage pour le vecteur électrique. À l'inverse, même si une gestion intelligente de la recharge des batteries offre des flexibilités au réseau, les infrastructures de recharge en hydrogène pourraient bénéficier de la mutualisation des investissements avec d'autres usages, notamment dans l'industrie ou le transport de marchandises.

### Encadré 3 – Comparaison à la VAC

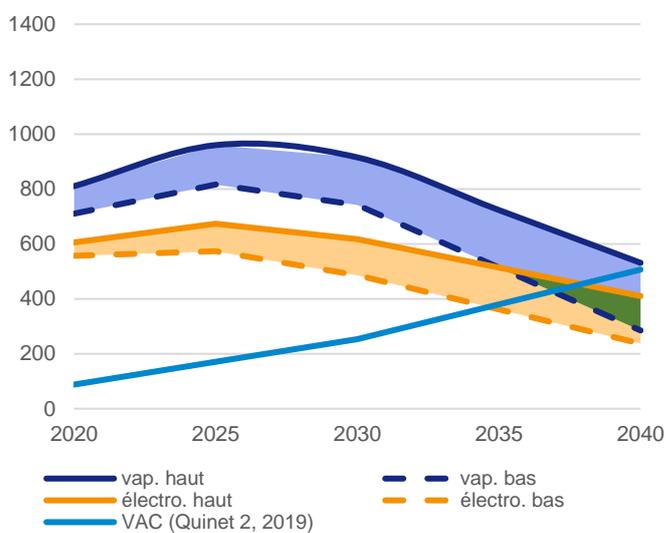
Pour connaître la rentabilité d'un point de vue socioéconomique du véhicule à hydrogène, il est nécessaire là encore de recalculer les coûts d'abattement avec la méthode « ajustée à la VAC » pour pouvoir les comparer directement à la valeur de l'action pour le climat.

Les résultats de ce calcul montrent qu'une baisse du coût du véhicule de l'ordre de 30 à 40 % d'ici 2040 (soit une baisse de coût d'environ 25 000 euros) permettrait que la motorisation hydrogène soit socioéconomiquement rentable à l'horizon 2035 si l'hydrogène est produit par électrolyse et que le coût de l'électrolyse est bas, et 2040 pour tous les modes de production de l'H<sub>2</sub>.

**Graphique 19 – Coût d'abattement ajusté à la VAC des véhicules hydrogène**



b) Baisse du coût de 20 % d'ici 2030 (40 % d'ici 2040)



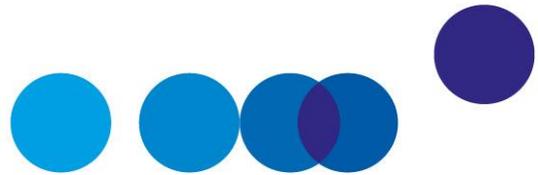
Source : calcul des auteurs

## 7. Synthèse et messages clés

### **Messages clés**

- Compte tenu des baisses de coûts anticipées, le seuil de rentabilité moyenne des motorisations alternatives (véhicules hybrides rechargeables et électriques à batteries) du point de vue socioéconomique devrait être atteint entre 2025 et 2030.
- La rentabilité socioéconomique est fortement dépendante du contexte d'usage des véhicules, en particulier quand on tient compte des cobénéfices environnementaux (moins de pollution de l'air et réduction des nuisances sonores) ; elle est atteinte à beaucoup plus court terme pour des usages intensifs et en milieux urbains.
- Les résultats sont également significativement dépendants du cadrage économique relatif aux carburants fossiles et à l'électricité (avec bouclage au niveau national, en fonction du niveau d'électrification des usages et des progrès d'efficacité énergétique réalisés).
- Dans la mesure où la rentabilité socioéconomique des motorisations alternatives est atteignable à moyen terme sous condition d'une baisse des coûts suffisante, leur déploiement à court terme est un facteur important de cette baisse des coûts par effet d'apprentissage. Ces déploiements précoces doivent en revanche cibler des marchés de niche et les usages sur lesquels les technologies sont les plus pertinentes.
- Sur le court et moyen terme, le déploiement d'un réseau d'infrastructures de recharge est une composante non négligeable dans le coût d'abattement des véhicules électriques à batterie.
- L'indicateur de coût d'abattement ne permet pas vraiment de discriminer entre les véhicules hybrides (rechargeables ou non) et électriques à batteries, car leur rentabilité socioéconomique advient au même horizon. Cependant, dans la mesure où les véhicules hybrides induisent des émissions résiduelles incompatibles avec la décarbonation complète du transport terrestre à l'horizon 2050, ils semblent appelés à ne jouer qu'un rôle transitoire dans la transformation du parc. Cette considération invite à modérer les efforts en faveur des motorisations hybrides afin d'éviter les effets de verrouillage ou de *lock-in*.
- Dans l'hypothèse d'une baisse significative des coûts de la technologie, les véhicules hydrogène (décarboné, produit par électrolyse) sont susceptibles de jouer un rôle important dans la décarbonation des mobilités individuelles, dans un premier temps pour suppléer les véhicules électriques à batteries sur des usages spécifiques nécessitant une autonomie importante.





## CHAPITRE 3

# DÉCARBONATION DES CARBURANTS : LE CAS DES BIOCARBURANTS

---

### 1. État des lieux

Les biocarburants<sup>1</sup> ou agrocarburants sont des carburants issus de la biomasse, considérés à ce titre comme une énergie renouvelable. La captation de carbone au cours de la phase de croissance des végétaux – qui constitueront la biomasse convertie ensuite en carburant – peut être déduite des émissions à la combustion, ce qui améliore le bilan CO<sub>2</sub> global dans une approche en cycle de vie par rapport aux carburants d'origine fossile.

La production de biocarburants comporte deux filières principales :

- **les substituts de l'essence**, qui comprennent le bioéthanol, produit à partir de sucre (canne à sucre, betterave) ou d'amidon (blé, maïs), son dérivé l'éthyl-tertio-butyl-éther dit ETBE et les bioessences de synthèse. La France est le premier producteur européen de bioéthanol devant l'Allemagne et le sixième producteur mondial, avec une production de 11,4 millions d'hectolitres (Mhl)<sup>2</sup> permettant de couvrir la consommation intérieure estimée à 9,8 Mhl en 2018. Cette production qui mobilise aujourd'hui 0,6 % de la surface agricole utile française<sup>3</sup> est destinée pour 60 % au marché des biocarburants.
- **les substituts du diesel**, qui comprennent des produits divers obtenus à partir d'huiles, d'origine animale ou végétale : on distingue notamment les esters<sup>4</sup> méthyliques d'acide gras (EMAG), d'huile végétale (EMHV), de graisses animales (EMHA) ou d'huiles végétales usagées (EMHU). La France est le deuxième

---

<sup>1</sup> Voir notamment la page dédiée [sur le site du ministère de la Transition écologique et solidaire](#).

<sup>2</sup> Les États-Unis sont leaders mondiaux avec une production annuelle de l'ordre de 600 Mhl.

<sup>3</sup> FranceAgriMer (2018), « [Proposition d'une méthodologie de calcul de la SAU allouée à la production de biocarburants](#) », Études Biocarburants.

<sup>4</sup> Le procédé d'estérification est nécessaire aux moteurs diesel modernes, dans lesquels les huiles ne peuvent être mélangées directement.

producteur européen de biodiesel derrière l'Allemagne et le cinquième producteur mondial. La production française ne permet toutefois pas de répondre à la demande intérieure, qui est soutenue par l'importance des véhicules à motorisation diesel dans le parc automobile. La capacité d'autosuffisance de la filière est de 81 % en 2018<sup>1</sup>, et la part de la production utilisant des matières premières importées repose quasi exclusivement sur l'huile de palme.

Les biocarburants sont par ailleurs classés en trois générations<sup>2</sup> en fonction de l'origine des matières premières utilisées pour les produire :

- **les biocarburants de première génération dits « conventionnels »** sont issus de cultures qui pourraient être destinées à l'alimentation (graisse, amidon, sucre) ;
- **les biocarburants de deuxième génération dits « avancés »** sont issus de résidus de cultures agricoles ou alimentaires ou de déchets. Ils ne sont donc pas en concurrence avec la production alimentaire ;
- **les biocarburants de troisième génération**, non encore matures, sont produits à partir d'autres matières premières, notamment d'algues.

En France, en 2018, les biocarburants représentent près de 9 % de la consommation énergétique des transports (dont environ trois quarts de biodiesel)<sup>3</sup>. La demande dans le secteur routier, principal débouché des deux filières, est encadrée par les objectifs nationaux et européens sur l'incorporation des énergies renouvelables. Le droit européen prévoit un objectif de 10 % d'énergies renouvelables (comprenant les biocarburants) dans les transports en 2020 et de 14 % au moins d'ici 2030<sup>4</sup>. L'objectif français a quant à lui été défini à 15 % en 2030<sup>5</sup>.

Néanmoins, la production de biomasse à vocation énergétique soulève des enjeux de compétition vis-à-vis des usages alimentaires. **Elle a par ailleurs des effets notables sur l'environnement** via les changements d'affectation des sols. On distingue deux types :

- **on parle de changement d'affectation des sols direct** lorsqu'une culture nouvelle est développée sur un sol qui n'était initialement pas dédié à la production agricole, occupé par une forêt ou une prairie permanente, par exemple ;

---

<sup>1</sup> FranceAgriMer (2021), « [Fiche filière – Biogazole](#) ».

<sup>2</sup> Cette distinction est conventionnelle : en droit français, la liste des biocarburants considérés comme « avancés » est définie par voie réglementaire.

<sup>3</sup> Chiffres DGEC (Direction générale de l'Énergie et du Climat).

<sup>4</sup> Directives « [RED](#) » 2009/28/CE et « [RED II](#) » (UE) 2018/2001.

<sup>5</sup> Calculé selon des modalités spécifiques, cet objectif ne reflète pas exactement le taux d'incorporation effectif.

- **on parle de changement d'affectation des sols indirect** lorsque la réorientation d'un système de production d'une culture vers une autre (typiquement d'une culture à finalité alimentaire vers une culture à finalité énergétique) induit en réalité un report de la culture remplacée vers une autre zone géographique, donc une modification d'usage des sols par rebond (avec par exemple à nouveau le remplacement d'une forêt ou d'une prairie permanente).

Les changements d'affectation des sols peuvent être associés à des modifications des pratiques agricoles, plus ou moins intensives notamment en eau et en intrants (avec des conséquences sur la pollution de l'air, l'eutrophisation de l'eau, les pressions sur la biodiversité, etc.), et surtout à des modifications des propriétés et des cycles biophysiques des sols qui impacteront entre autres leurs capacités de stockage de carbone.

Nous verrons donc que **le bilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre des biocarburants par rapport aux carburants fossiles est complexe et très variable**. Il dépend du type de culture, du type de biomasse (résidus ou non, ce qui différencie les première et deuxième générations), du type de bioénergies (biodiesel, bioéthanol, biogaz voire bioélectricité) et donc d'effets liés aux changements d'affectation des sols directs et indirects. En particulier, ce bilan pourra être fortement dégradé par la disparition induite de puits de carbone naturels tels que des forêts.

Ainsi, la part des biocarburants de première génération – qui présentent globalement les bilans environnementaux les plus dégradés – dans les carburants routiers et ferroviaires est encadrée et de manière plus stricte au niveau national qu'au niveau européen<sup>1</sup>, notamment depuis la Loi de finances 2019 en ce qui concerne les biocarburants issus d'huile de palme. La réglementation européenne prévoit par ailleurs des critères de durabilité pour les biocarburants permettant de satisfaire aux objectifs énergétiques, notamment une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 60 % au moins par rapport aux combustibles fossiles remplacés depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018.

## 2. Méthodes de calcul et paramètres retenus

Dans la mesure où les biocarburants peuvent être partiellement substitués aux carburants d'origine fossile sans modification de la motorisation, le principe de calcul du coût d'abattement est relativement simple. Il s'agit de réaliser le ratio entre d'une part le surcoût de production et le différentiel de coûts externes du biocarburant par rapport au carburant fossile et d'autre part le différentiel de contenu carbone par unité énergétique (en se plaçant dans une logique de cycle de vie et en tenant compte notamment des

---

<sup>1</sup> En lien notamment avec les engagements de la Stratégie nationale de lutte contre la déforestation importée (2018).

changements d'affectation des sols induits, directs et indirects). Concernant les coûts externes, faute de données suffisamment robustes, on se contentera ici de les signaler qualitativement.

$$\begin{array}{c}
 \text{Coût d'abattement} = \frac{\text{Surcoût de production du biocarburant par rapport au carburant fossile dont la substitution est visée} + \text{Terme correctif de l'impact FiPu} + \left( \text{Différentiel de coûts externes (pollution de l'air, eutrophisation de l'eau, impacts sur la biodiversité, etc.)} \right)}{\text{Différentiel de contenu carbone en cycle de vie, en tenant compte notamment des changements d'affectation des sols directs et indirects}}
 \end{array}$$

*Terme non pris en compte*  
*Raisonnement (fictif) à fiscalité équivalente quelle que soit l'origine du carburant*

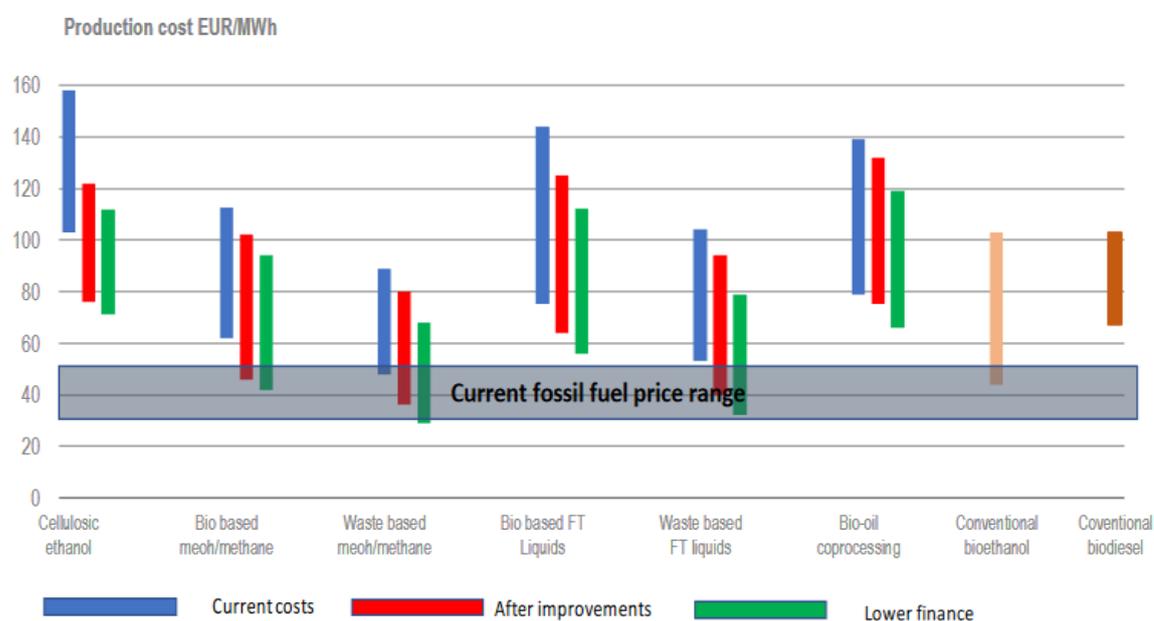
*Terme discuté qualitativement, non suffisamment documenté quantitativement*

### Différentiel de coûts

Les coûts de production des biocarburants utilisés dans l'analyse qui suit sont tirés d'un rapport de l'IEA *Bioenergy* de 2020 (voir Graphique 20). Bien que les coûts soient présentés de manière agrégée, il convient de garder à l'esprit que l'approvisionnement en matières premières en représente une composante variable, mais qui peut être significative (notamment pour les premières générations) et sensible au cours des marchés (ce qui est évidemment aussi, si ce n'est plus, le cas des carburants d'origine fossile qui seront pris en référence). On s'intéressera donc dans la mesure du possible aux estimations de coûts dans les conditions européennes d'approvisionnement. Ainsi :

- **pour le bioéthanol « conventionnel »** ou de première génération, on retiendra une fourchette de coûts de production de 66 à 103 €/MWh ;
- **pour le biodiesel « conventionnel »** ou de première génération, on retiendra une fourchette de coûts de production de 67 à 100 €/MWh ;
- **pour le bioéthanol de deuxième génération**, on s'appuiera sur l'évaluation des coûts de l'éthanol cellulosique (produit à partir de déchets agricoles et ligneux) dans l'étude précédemment citée. On retiendra donc une fourchette de 103 à 158 €/MWh pour les coûts actuels, avec une perspective de baisse à moyen terme jusqu'entre 71 et 112 €/MWh en combinant des améliorations des procédés et des conditions de financement moins risquées donc plus favorables ;
- **pour le biodiesel de deuxième génération**, on s'appuiera sur l'évaluation des coûts des hydrocarbures obtenus par synthèse de Fischer-Tropsch à partir de biomasse gazéifiée. On retiendra ici une fourchette de 75 à 144 €/MWh pour les coûts actuels, avec une perspective de baisse à moyen terme jusqu'entre 56 et 112 €/MWh.

**Graphique 20 – Comparaison des coûts de production de biocarburants « avancés » avec ceux de biocarburants « conventionnels » et les prix des énergies fossiles**



Source : IEA Bioenergy (2020), *Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction*, Task 41 du IEA Bioenergy Technology Cooperation Programme

Pour le prix de l'essence et du gazole, on retiendra un coût de production (hors transport et distribution<sup>1</sup>) de 0,45 €/L, soit 47 €/MWh pour l'essence et 42 €/MWh pour le diesel, sur la base des prix à la pompe HTT observés sur l'année 2019. Pour 2030, on retiendra une référence du coût de production des carburants fossiles à 0,60 €/L, cohérente avec le scénario *Stated Policies* de l'AIE (WEO 2019).

**Tableau 6 – Récapitulatif des hypothèses de coût de production des carburants (en €/MWh)**

<b>Essence (référence)</b>	47
<b>Diesel (référence)</b>	42
<b>Bioéthanol de première génération</b>	66-103
<b>Biodiesel de première génération</b>	67-100
<b>Bioéthanol de deuxième génération</b>	103-158 (71-112 à 2030)
<b>Biodiesel de deuxième génération</b>	75-144 (56-112 à 2030)

Source : commission sur les coûts d'abattement

<sup>1</sup> Voir la composition type du prix de l'essence [sur le site du ministère de l'Économie et des Finances](#).

## Réduction des émissions de GES

En premier lieu, on se propose d'estimer les réductions d'émissions de GES permises par les biocarburants de première génération sur la base des valeurs rapportées par les opérateurs à la DGEC et calculées selon la méthodologie de la directive « RED » 2009/28/CE (Tableau 7). Sur cette base, on fera l'hypothèse que le bioéthanol et le biodiesel de première génération permettent des baisses moyennes des émissions comprises respectivement entre 60 % et 70 % et 55 % et 65 % par rapport au carburant fossile de référence (dans lequel ils peuvent être incorporés).

Néanmoins, les travaux académiques montrent une grande disparité des résultats et de fortes incertitudes en ce qui concerne les réductions de GES permises par les bioénergies (par rapport à des sources d'origine fossile), en particulier lorsqu'on tient compte des changements d'affectation des sols, y compris indirects (ce qui n'est pas le cas de la méthodologie de la directive 2009/28/CE).

On comparera donc les résultats dérivés des valeurs présentées plus haut à ceux obtenus en s'appuyant sur une méta-analyse de 127 articles menée à l'INRA, dans le cadre d'une étude sollicitée conjointement par l'Ademe et le ministère de l'Agriculture<sup>1</sup>. Celle-ci conduit à des réductions d'émissions moyennes moins favorables et met en évidence la dispersion des résultats en fonction d'une multitude de paramètres, en particulier la génération technologique (biocarburants « conventionnels » vs. « avancés ») et l'état initial des sols sur lesquels la biomasse est cultivée<sup>2</sup> (Graphique 21). Pour l'analyse qui suit, nous ne retiendrons que des approximations de réductions d'émissions moyennes :

- **pour le bioéthanol de première génération**, une baisse des émissions comprises entre 30 et 40 % seulement par rapport à l'essence ;
- **pour le biodiesel de première génération**, une baisse des émissions comprises entre 15 et 25 % seulement par rapport au gazole ;
- **pour les biocarburants de deuxième génération**, une baisse des émissions comprises entre 50 et 60 % en moyenne par rapport au carburant fossile de référence.

---

<sup>1</sup> INRA (2017), *Effets environnementaux des changements d'affectation des sols liés à des réorientations agricoles, forestières, ou d'échelle territoriale : une revue critique de la littérature scientifique. Synthèse de l'étude réalisée par l'INRA et l'Ademe*, A. Bispo, B. Gabrielle et D. Makowski (coordinateurs), mars.

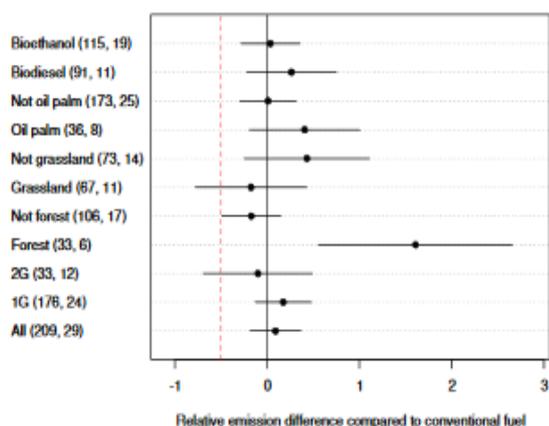
<sup>2</sup> « Schématiquement, les CASd en Europe "induisent" beaucoup de CASi en dehors de l'Europe, et notamment en Amérique du Sud et en Asie. Les études reflètent ainsi les dynamiques observées à l'échelle mondiale » (INRA, 2017, p. 59).

**Tableau 7 – Pourcentage moyen de réduction des émissions de GES par rapport aux émissions du carburant fossile de référence en France en 2019 (selon la méthodologie de la directive 2009/28/CE)**

Filière Gazole	<b>EMHA</b>	<b>- 79 %</b>
	Huiles ou graisses animales (catégorie I et/ou II)	- 78 %
	Huiles ou graisses animales (catégorie III)	- 84 %
	<b>EMHU</b>	<b>- 88 %</b>
	<b>EMHV</b>	<b>- 59 %</b>
	Colza	- 58 %
	Palme	- 61 %
	Soja	- 60 %
	Tournesol	- 68 %
	<b>HVHTG</b>	<b>- 68 %</b>
Huiles ou graisses animales (catégorie III)	- 90 %	
Palme	- 68 %	
Filière Essence	<b>ETBE</b>	<b>- 65 %</b>
	Betterave	- 60 %
	Blé	- 69 %
	Canne à sucre	- 71 %
	Maïs	- 65 %
	Orge	- 75 %
	Seigle	- 54 %
	Triticale	- 52 %
	<b>Éthanol</b>	<b>- 66 %</b>
	Betterave	- 58 %
	Blé	- 63 %
	Canne à sucre	- 90 %
	EP2	- 65 %
	Maïs	- 71 %
	Orge	- 76 %
	Résidus de bière	- 69 %
	Résidus viniques	- 72 %
<b>Éthanol (ED95)</b>	<b>- 65 %</b>	
Résidus viniques	- 72 %	
<b>HVTE</b>	<b>- 69 %</b>	
Colza	- 63 %	
Palme	- 68 %	
POME	- 91 %	

Source : DGEC (2020), *Panorama 2019 – Biocarburants incorporés en France*, Direction générale de l'Énergie et du Climat

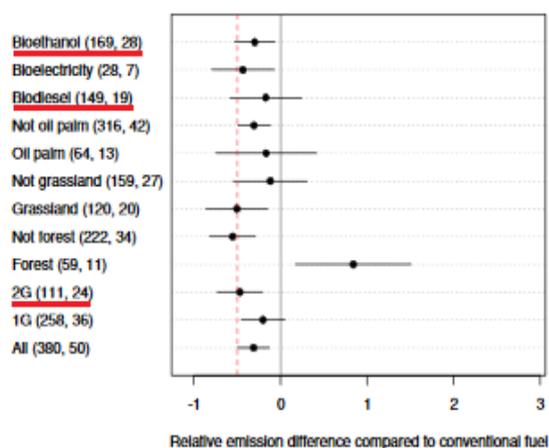
**Graphique 21 – Variations d'émissions (par rapport au carburant conventionnel de référence) estimées pour différents groupes de scénarios dans la méta-analyse menée à l'INRA**



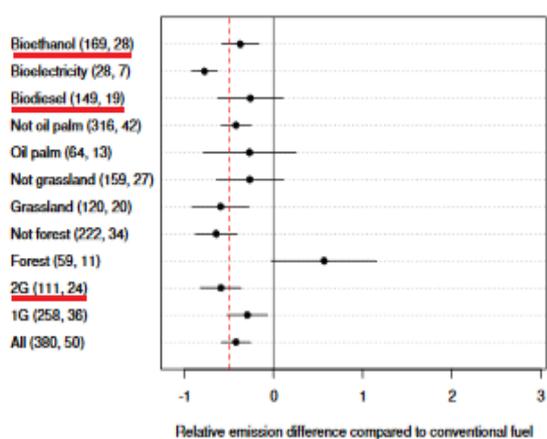
A. Valeurs de  $E_f$  extraites des articles ( $E_f^{art}$ )

Le groupe "All" inclut toutes les données.  
"1G" et "2G" correspondent aux scénarios biocarburant 1G et 2G, respectivement.  
"Forest" et "Not forest" correspondent aux scénarios avec un usage initial du sol forestier et non forestier, respectivement.  
"Grassland" et "Not grassland" correspondent aux scénarios avec un usage initial du sol de type prairie (éventuellement prairie dégradée) et d'un type différent d'une prairie, respectivement.  
"Oil palm" et "Not oil palm" correspondent aux scénarios décrivant une production d'huile de palme et une production différente de l'huile de palme, respectivement.  
"Biodiesel" et "Bioethanol" correspondent aux scénarios décrivant une production de biodiesel et de bioéthanol, respectivement.

Les barres horizontales présentent les intervalles de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de scénarios et le nombre d'articles utilisés dans chaque groupe. Les droites verticales rouges indiquent un niveau de réduction de 50%.



B. Valeur minimale de  $E_f$  ( $E_f^{min}$ )



C. Valeur maximale de  $E_f$  ( $E_f^{max}$ )

Note : l'analyse s'appuie sur les groupes de scénarios signalés en rouge pour établir un jeu d'hypothèses alternatives des réductions d'émissions permises par les biocarburants.

Source : INRA (2017), op. cit.

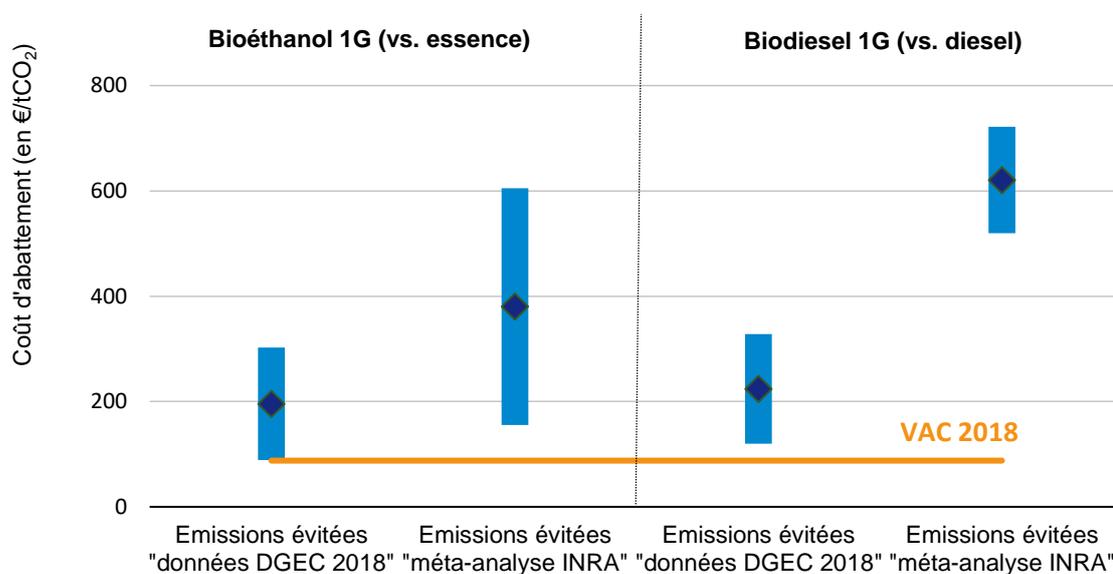
### 3. Résultats

Dans un premier temps, on détermine les coûts d'abattement associés actuellement aux biocarburants de première génération, en présentant simultanément les résultats obtenus avec les deux jeux d'hypothèses concernant les réductions d'émissions de gaz à effet de serre permises (Graphique 22).

Il apparaît avec ces calculs que la rentabilité socioéconomique des biocarburants de première génération n'est actuellement pas garantie, y compris avec les hypothèses plus

favorables concernant les réductions d'émissions de GES. Si les impacts réels sont difficiles à quantifier et très incertains, les calculs menés sur la base de la méta-analyse INRA laissent penser que la combinaison, entre autres, des effets de changement d'affectation des sols direct et indirect, rend ces solutions peu attractives pour la collectivité, au moins à court terme.

**Graphique 22 – Coûts d'abattement des biocarburants (bioéthanol et biodiesel) de première génération par rapport aux carburants conventionnels en 2018**



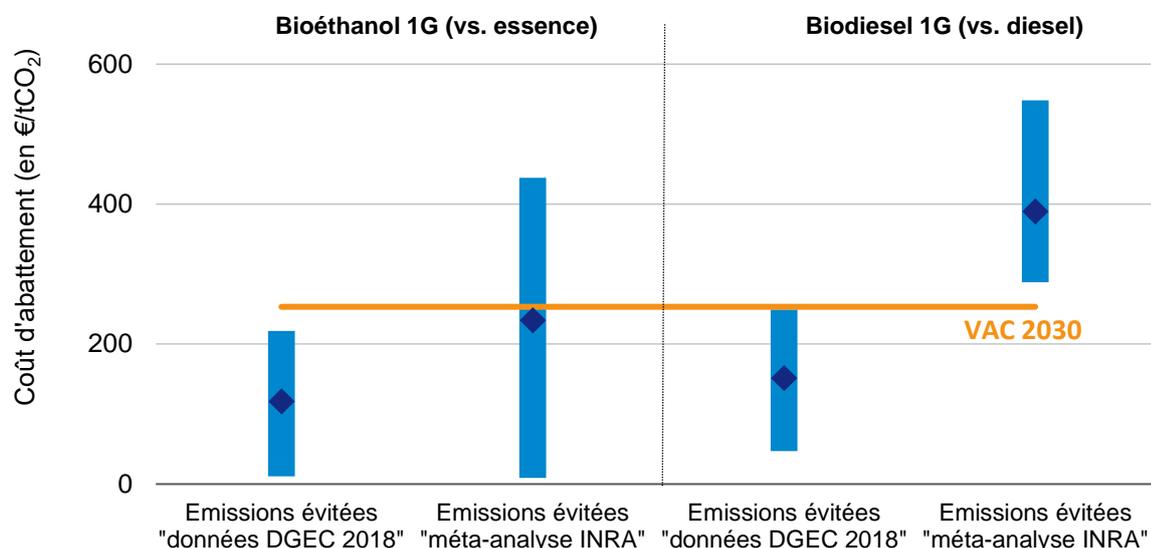
Note : on utilise ici la première hypothèse de coût sur les carburants d'origine fossile, à savoir une valeur de 0,45 €/L. Les barres d'incertitude résultent des fourchettes d'hypothèses retenues pour les coûts de production des biocarburants et les émissions qu'ils permettent effectivement d'éviter.

Source : calcul des auteurs

À l'horizon 2030, en faisant l'hypothèse que les coûts de production des biocarburants de première génération restent stables (des progrès marginaux sur les procédés compensant une légère augmentation des coûts d'approvisionnement) et que le coût des carburants conventionnels augmente de l'ordre de 25 % (scénario type *Stated Policies* de l'AIE), la pertinence de cette filière demeure très incertaine du point de vue socioéconomique (Graphique 23).

En outre, à cet horizon et compte tenu de l'ambition des objectifs de décarbonation dans les transports, se posera avec plus d'acuité la question de savoir si les réductions d'émissions permises sont suffisantes (au mieux 50 % par rapport aux carburants conventionnels) – en particulier au regard de la contrainte qui pèse sur la ressource biomasse et de la persistance de la problématique de concurrence avec les usages alimentaires.

**Graphique 23 – Coûts d'abattement des biocarburants de première génération (bioéthanol et biodiesel) par rapport aux carburants conventionnels, à l'horizon 2030**

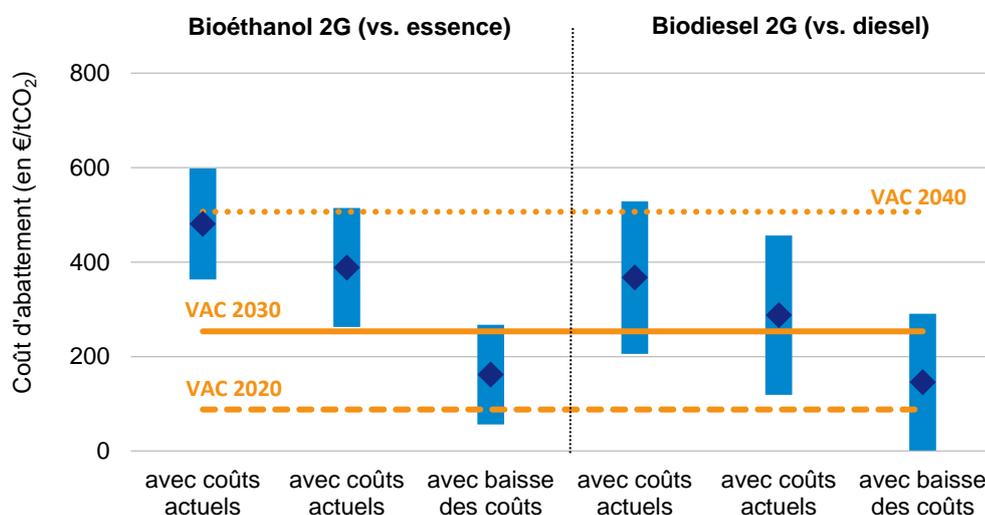


Note : on utilise ici la seconde hypothèse de coût sur les carburants d'origine fossile, à savoir une valeur de 0,75 €/L cohérente avec un coût à l'horizon 2030 dans un scénario de type *Stated Policies* (AIE). Les barres d'incertitude résultent des fourchettes d'hypothèses retenues pour les coûts de production des biocarburants et les émissions qu'ils permettent d'éviter.

Source : calcul des auteurs

Pour compléter l'analyse, on s'intéresse aux coûts d'abattement des biocarburants de deuxième génération, toujours aux horizons de temps 2020 et 2030, sur la base des réductions d'émissions estimées dans la méta-analyse INRA et en prenant en compte l'impact des baisses de coûts potentielles. Si ces biocarburants ne sont pas socioéconomiquement rentables aujourd'hui, ils pourraient l'être à compter de 2030 à la condition que des baisses de coûts de production significatives, de 20 % à 30 %, se matérialisent (Graphique 24). La méta-analyse INRA montrant par ailleurs que les agrocarburants de deuxième génération permettent des réductions d'émissions significativement plus importantes en moyenne, ces résultats plaident pour une concentration des moyens vers les technologies « avancées ».

**Graphique 24 – Coûts d'abattement associés aux biocarburants de deuxième génération par rapport aux carburants conventionnels aux horizons 2020 et 2030**



Note : les calculs sont réalisés aux horizons 2020 et 2030, avec des hypothèses de 0,45 et 0,60 €/L respectivement pour le coût de production des carburants d'origine fossile. Les barres d'incertitude résultent des fourchettes d'hypothèses retenues pour les coûts de production des biocarburants et les émissions qu'ils permettent d'éviter.

Source : calcul des auteurs

## 4. Perspectives d'approfondissement et commentaires

### ***Les autres coûts externes environnementaux***

Dans la mesure où les calculs sont menés selon une perspective socioéconomique, il conviendrait que le différentiel de coûts de production intègre aussi l'écart de coûts externes liés à la production du carburant fossile et de son substitut biosourcé (tel que dans la formule présentée plus haut (section 2)).

Néanmoins, la revue de littérature conduite dans le cadre de l'étude INRA (2017) met en évidence les fragilités et les lacunes des travaux disponibles à ce jour et les difficultés qui en résultent pour identifier, et *a fortiori* quantifier, les divers impacts environnementaux de la production de biomasse non alimentaire. En l'occurrence, il semblerait que les changements d'affectation aient des impacts négatifs du fait notamment d'une augmentation des prélèvements en eau, des phénomènes d'eutrophisation et des pressions sur la biodiversité.

Ces conclusions restent préliminaires et les études sur les autres impacts sont trop rares pour en tirer de premiers enseignements, notamment en ce qui concerne les impacts des

carburants biosourcés sur la pollution atmosphérique et la santé humaine. Sur le principe, des impacts négatifs se traduiraient par une augmentation des coûts d'abattement obtenus.

### **Limites des gisements**

Quand bien même leur utilisation serait socioéconomiquement efficace, les biocarburants induisent des réductions d'émissions limitées par trois types de contraintes, ce qui réduit leur intérêt à long terme dans une perspective de décarbonation complète des transports terrestres à l'horizon 2050 :

- au niveau micro, les réductions d'émissions sont limitées par les **émissions inhérentes à la production des biocarburants**. La substitution d'un carburant d'origine fossile par un biocarburant de deuxième génération ne conduirait en l'état actuel des pratiques agricoles qu'à des réductions d'émissions de l'ordre de 50 % à 60 % dès lors que l'on tient compte des changements d'affectation des sols induits, en particulier indirects ;
- au niveau micro toujours, ces réductions d'émissions peuvent être limitées par des **contraintes d'incorporation selon les motorisations**. Le taux d'incorporation actuel du bioéthanol dans l'essence représente jusqu'à 5 % en volume dans le SP95 et SP98, et jusqu'à 10 % en volume dans le SP95-E10<sup>1</sup>. Pour atteindre des taux d'incorporation plus élevés (typiquement ceux du superéthanol E85 composé jusqu'à 85 % de bioéthanol), il est possible de recourir à des véhicules spécialement adaptés, dits « flexfuel ». Il faut alors tenir compte du surcoût associé à ces motorisations : sur la base d'une hypothèse de prix d'un boîtier de conversion E85 homologué de 1 000 euros, on estime en première approche que le coût d'abattement associé au bioéthanol pour des taux d'incorporation élevés serait supérieur de l'ordre de 50 à 100 €/tCO<sub>2</sub> aux résultats présentés plus haut ;
- au niveau macro surtout, le gisement associé à l'utilisation de biocarburants est limité par la **contrainte sur la ressource en biomasse disponible**.

Dans ce contexte de ressources limitées, le recours aux biocarburants – si, malgré les limites présentées ci-dessus, celui-ci s'avère indispensable à l'atteinte des objectifs climatiques du secteur – doit être orienté vers des applications soigneusement identifiées. En l'occurrence, dans le secteur aérien, l'utilisation de biocarburants constitue, au moins à court et moyen terme, un des principaux leviers, après la réduction des consommations spécifiques, pour la réduction des émissions du secteur. Ainsi, en dépit de leur coût d'abattement encore potentiellement élevé (de l'ordre de 400 à 500 €/tCO<sub>2</sub> pour les

---

<sup>1</sup> E10 faisant référence à la présence de 10 % d'éthanol dans le mélange. Contrairement aux mélanges avec 5 %, ce biocarburant nécessite des technologies spécifiques.

biocarburants de deuxième génération – voir graphiques 22 et 23), les biocarburants aériens pourraient constituer un débouché à privilégier pour la filière. On notera par ailleurs qu'ils présentent l'avantage de pouvoir être utilisés en mélange au kérosène fossile, jusqu'à 50 % d'incorporation en volume.

Dans cette perspective, les ministères de la Transition écologique, de l'Économie et des Finances, des Transports, et de l'Agriculture et de l'Alimentation ont défini une feuille de route nationale<sup>1</sup>, qui précise l'ambition et la stratégie que la France pourrait développer en matière de biocarburants aéronautiques durables dès 2025. Celle-ci prévoit notamment une trajectoire de substitution à court terme du kérosène fossile par des biocarburants durables, de 2 % en 2025 et de 5 % en 2030. Amorcer le déploiement de ces produits à court terme s'inscrit en cohérence avec la SNBC, qui fixe un objectif de long terme de 50 % en 2050.

### **Messages clés**

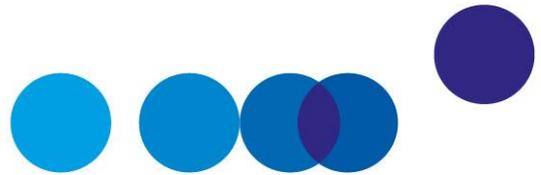
- Le calcul du coût d'abattement associé à la substitution de carburants fossiles par des équivalents biosourcés paraît en première approche relativement simple. S'il ne nécessite pas de modification des motorisations, il suffit de rapporter le différentiel de coût par litre (entendu au sens large, à savoir de production mais également en tenant compte des équivalents monétaires des externalités) à l'écart en termes de bilan d'émissions GES.
- Les résultats obtenus laissent penser que la rentabilité socioéconomique du recours aux biocarburants de première génération est très incertaine, y compris à l'horizon 2030. Pour les carburants de deuxième génération, les baisses de coûts de production de l'ordre de 20 % à 30 % envisageables devraient leur permettre d'être socioéconomiquement rentables à l'horizon 2030.
- Ces calculs sont très dépendants des situations particulières (notamment des conditions de production de la matière première utilisée), ce qui se traduit par une importante variabilité des résultats. Le taux de réduction d'émissions permis par l'utilisation de carburants biosourcés est particulièrement sensible (et son évaluation soumise à d'importantes incertitudes selon la méthodologie retenue), dès lors notamment que l'on tient compte des impacts des changements d'affectation des sols, en particulier les changements indirects.
- La production de biocarburants induit d'autres externalités environnementales (augmentation des prélèvements d'eau, eutrophisation, pressions sur la biodiversité, etc.) sur lesquelles les conclusions des études existantes, et *a fortiori* les tentatives de

---

<sup>1</sup> Cette feuille de route est accessible [ici](#).

quantification, restent préliminaires et ne peuvent donc être intégrées à ce stade dans les calculs de coûts d'abattement socioéconomiques.

- Enfin, le gisement de réduction d'émissions associé aux biocarburants est limité à la fois par les émissions directes et indirectes induites par leur production, les contraintes d'incorporation dans les carburants fossiles et surtout la quantité totale de bio-ressources disponible. Si les biocarburants sont effectivement appelés à jouer un rôle dans la trajectoire de décarbonation des transports, ces éléments invitent à une sélection précise des options techniques à privilégier (matières premières utilisées, procédés de production, etc.) et surtout des usages à couvrir, en ciblant ceux qui disposent d'alternatives limitées comme le secteur aérien.



## CHAPITRE 4

# LEVIERS D'EFFICACITÉ TECHNOLOGIQUE ET LEVIERS COMPORTEMENTAUX

---

Ni les leviers d'efficacité énergétique ni les leviers comportementaux n'ont fait l'objet de calculs spécifiques et approfondis dans le cadre des travaux de la commission. S'agissant des leviers comportementaux, la pertinence du calcul des coûts d'abattement ne paraît pas en effet démontrée. Nous nous contentons ici de faire un état des lieux de la connaissance en matière de coûts et d'émissions évitées pour ces différents leviers, en donnant quelques pistes méthodologiques pour le calcul d'un coût d'abattement.

## 1. Améliorer les performances de la motorisation des poids lourds

### 1.1. État des lieux

Le transport routier de marchandises est la deuxième source d'externalités climatiques dans le secteur des transports, derrière le trafic de véhicules légers. Ainsi, en 2017, la circulation des poids lourds sur le territoire national était responsable de 23 % des émissions de CO<sub>2</sub> du transport routier, celle des véhicules utilitaires légers de l'ordre de 20 %<sup>1</sup>. Autrement dit, poids lourds et utilitaires contribuent à plus de 40 % des émissions de GES du secteur des transports, soit plus de 12 % de l'ensemble des émissions nationales.

La décarbonation complète des transports terrestres prévue dans la SNBC à l'horizon 2050 ne pourra se faire sans une conversion massive du parc vers des motorisations à faibles émissions. Si le mouvement est analogue à la transformation progressive du parc

---

<sup>1</sup> CGDD (2020), « [Chiffres clés du transport – Édition 2020](#) », *Datalab Transport*, Commissariat général au développement durable, mars.

de véhicules légers, l'analyse des véhicules poids lourds fait cependant ressortir des différences significatives :

- **la maturité de l'offre en matière de poids lourds à motorisations alternatives est aujourd'hui moindre que pour les véhicules légers.** Ainsi, alors que les véhicules particuliers rechargeables dans le parc roulant français avoisinent les 400 000 unités à la fin du troisième trimestre 2020<sup>1</sup> (soit plus de 1 % du parc total), le parc roulant de poids lourds français est encore composé quasi uniquement de motorisations diesel. Au 1<sup>er</sup> janvier 2020, sur 600 000 véhicules lourds, on ne compte que 5 700 véhicules ne roulant pas au diesel, dont 4 700 utilisent du GNV<sup>2</sup>. Autrement dit, les motorisations électriques et autres alternatives à faibles ou zéro émissions demeurent très marginales ;
- **la diversité des usages dans le transport routier de marchandises** (du petit porteur utilisé en logistique urbaine au semi-remorque pour le fret à longue distance), plus marquée que pour les déplacements personnels en automobile, **laisse penser que plusieurs motorisations alternatives au moteur diesel thermique seront susceptibles de coexister sur des segments différents.** Le scénario indicatif sous-jacent à la dernière révision de la SNBC prévoit notamment une croissance parallèle des parts de marché des motorisations électriques, hydrogène ou gaz (progressivement issu de bioressources) à l'horizon 2050.

Il résulte de ces deux constats qu'un **champ large d'options technologiques demeure possible pour la transformation du parc de véhicules lourds** : hybridation, motorisation thermique au gaz, motorisation électrique à batteries, « autoroutes électriques » avec caténaires, hydrogène<sup>3</sup>. On notera par ailleurs que les motorisations au gaz, alternatives au diesel – les plus développées aujourd'hui – posent question au regard de leurs coûts externes en matière de pollution de l'air<sup>4</sup>.

Compte tenu du temps nécessaire à l'émergence de filières de poids lourds à faibles ou zéro émissions matures technologiquement et compétitives, **le levier de l'efficacité énergétique et donc la réduction des consommations des motorisations thermiques est prioritaire sur le court et moyen terme.**

---

<sup>1</sup> Avere (2020), « [En septembre 2020, les véhicules électriques et hybrides rechargeables ont conquis 9 % de part de marché !](#) », *Baromètre mensuel de la mobilité électrique*, Association nationale pour le développement de la mobilité électrique, octobre.

<sup>2</sup> Voir données du ministère de la Transition écologique et solidaire dans la note « [Le parc des poids lourds en circulation est stable au 1<sup>er</sup> janvier 2020](#) », octobre 2020.

<sup>3</sup> European Climate Foundation (2018), « [Trucking into a Greener Future: the economic impact of decarbonizing goods vehicles in Europe](#) », Cambridge Econometrics, septembre.

<sup>4</sup> Transport & Environnement (2019), « [Les camions au gaz réduisent-ils les émissions ?](#) », septembre.

Le scénario technique sous-jacent à la SNBC prévoit que les motorisations diesel représenteront encore deux tiers des immatriculations de poids lourds neufs en 2030, mais il fait l'hypothèse d'une baisse de la consommation des nouveaux modèles thermiques d'environ 20 % entre 2015 et 2030. L'effort à consentir trouve une traduction opérationnelle avec le règlement européen (UE) 2019/1242. Celui-ci établit, de manière analogue à la réglementation applicable aux véhicules particuliers, des normes d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les poids lourds neufs vendus dans l'Union européenne, et vise une réduction de l'intensité carbone de 15 % d'ici 2025 et 30 % d'ici 2030 (en gCO<sub>2</sub>eq/t.km).

## 1.2. Éléments de discussion des coûts d'abattement

La méthodologie générale de calcul des coûts d'abattement associés aux changements de motorisations pour les poids lourds est strictement équivalente à celle détaillée au chapitre 3 pour les véhicules légers. Ces calculs n'ont pas été conduits explicitement dans le cadre du groupe de travail, mais ils pourront l'être pour continuer à documenter et à hiérarchiser les différents leviers de décarbonation dans le secteur des transports.

Le calcul peut aussi s'appliquer directement pour évaluer les leviers d'efficacité énergétique et de réduction de la consommation des motorisations thermiques neuves. Il consistera à mettre en regard : au numérateur (i) un surcoût (réduction de la masse de certains composants du véhicule, amélioration de l'efficacité du moteur, de la transmission, des caractéristiques aérodynamiques du véhicule, etc.) ; (ii) des économies d'énergie hors taxes et (iii) d'autres cobénéfices environnementaux, et au dénominateur les émissions évitées – ou plus exactement des bénéfices climatiques évalués grâce à la valeur de l'action pour le climat et exprimés en un volume équivalent d'émissions évitées.

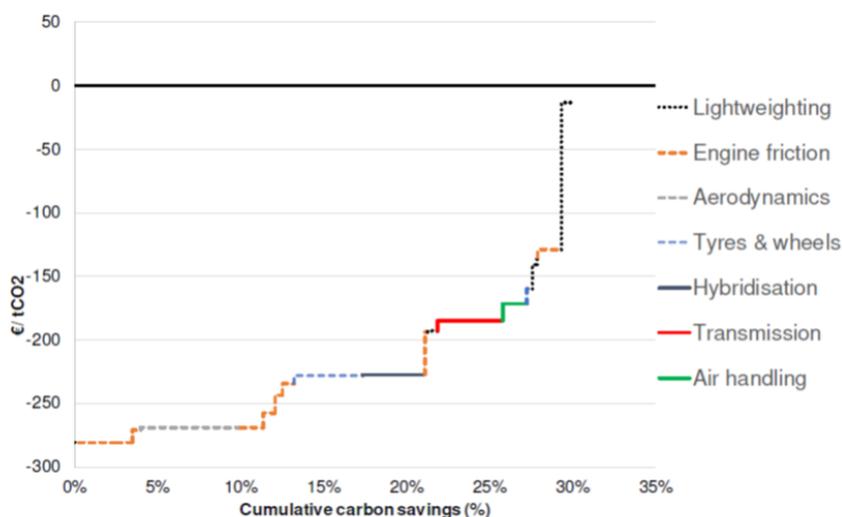
Sans mener de calculs propres concernant les coûts d'abattement associés aux leviers d'efficacité énergétique, il est possible de se référer aux travaux de Ricardo Energy & Environment pour l'ICCT<sup>1</sup>. Si la méthodologie utilisée diffère (non intégration des cobénéfices en matière de pollution de l'air, taux d'actualisation de 4 % au lieu de 4,5 %), les résultats mettent en évidence qu'une réduction d'environ 30 % des émissions des véhicules lourds est accessible pour un coût d'abattement négatif (Graphique 25), c'est-à-dire par des actions permettant à la collectivité de dégager davantage de bénéfices socioéconomiques hors climat que les coûts engagés. Autrement dit, la réduction de 30 % de l'intensité carbone des poids lourds vendus dans l'Union européenne d'ici 2030 semble souhaitable, indépendamment des réductions d'émissions qu'elle permet. **Il s'agirait ainsi d'un potentiel de décarbonation sans regrets.**

---

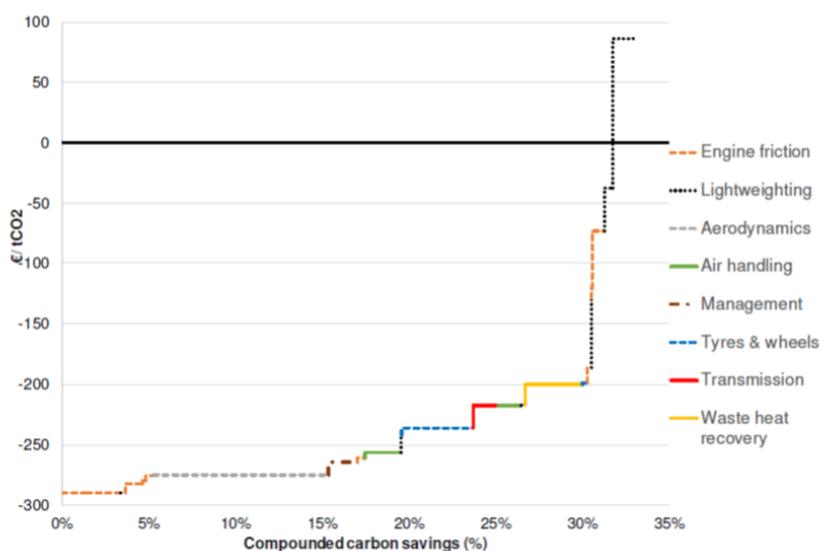
<sup>1</sup> Ricardo Energy & Environment (2017), *Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study*, rapport final pour l'ICCT, avril.

**Graphique 25 – Distribution des coûts marginaux d'abattement pour des actions de réduction de la consommation de carburant de poids lourds (2030)**

*Cas de transporteurs*



*Cas des tracteurs routiers avec semi-remorques*



Source : ICCT

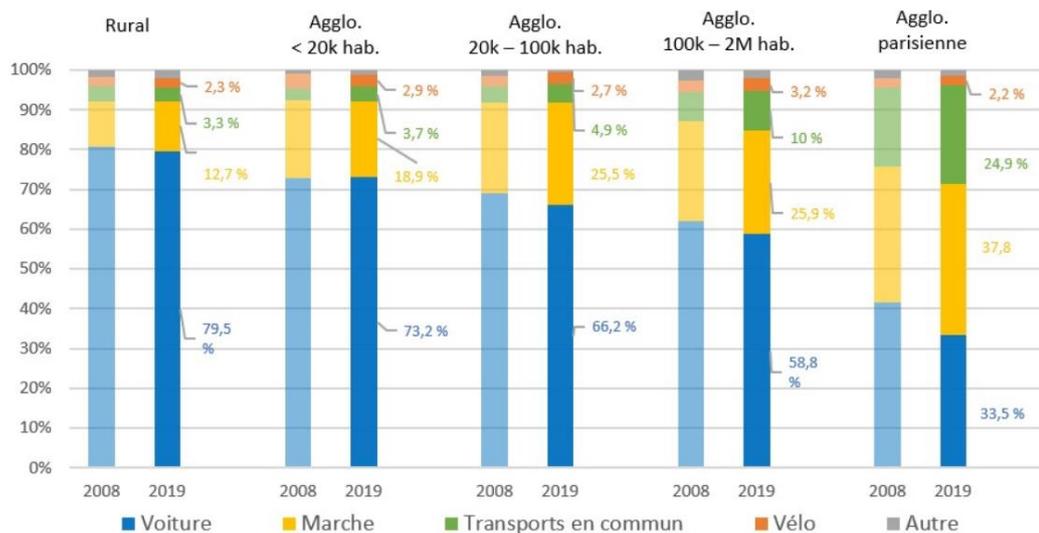
On peut rappeler que des coûts d'abattement socioéconomiques négatifs ne signifient pas pour autant que les gisements concernés sont susceptibles de se déployer spontanément, sans mécanisme d'incitation. En effet, la manière dont ils sont calculés ne vise pas à refléter les choix d'arbitrage des agents privés, en termes de choix du taux d'actualisation ou d'éléments de coût pris en compte.

## 2. Report modal et changements d'usage : le covoiturage et les modes actifs

En France, l'automobile reste le mode de transports largement privilégié pour les déplacements locaux, c'est-à-dire jusqu'à moins de 80 km du domicile. Cette réalité a relativement peu évolué sur la dernière décennie : en 2019, 63 % des déplacements, à courte et moyenne distance et en semaine, se faisaient en voiture, contre 64,8 % en 2008<sup>1</sup>.

Ce constat cache de profondes différences entre les territoires (Graphique 26). Quand l'automobile est encore utilisée pour près de 80 % des déplacements locaux en milieu rural, la marche et les transports en commun en couvrent plus de 60 % en agglomération parisienne. La mise en évidence de ces contrastes invite à une approche différenciée, tenant compte du potentiel et des contraintes sur chaque levier, territoire par territoire.

**Graphique 26 – Évolution des parts modales (en nombre de déplacements locaux, inférieurs à 80 km du domicile, en semaine) par type d'unité urbaine entre 2008 et 2019**



Note : Les résultats sont établis pour les déplacements des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine, sur la base de l'enquête *Mobilité des personnes* de 2018-2019 et de l'enquête nationale *Transports et déplacements* de 2007-2008 (SOeS/Insee/Inrets).

Source : SDES

<sup>1</sup> Voir les premiers résultats de l'enquête *Mobilité des personnes* de 2018-2019 sur le site du ministère de la Transition écologique.

## 2.1. Le covoiturage

Sans modifier la part de l'automobile dans les déplacements locaux, le développement du covoiturage à courte et moyenne distance permettrait de limiter les impacts climatiques par passager transporté. En effet, le taux d'occupation des véhicules est aujourd'hui globalement faible : il est de 1,22 pour les trajets inférieurs à 20 km (82 % des déplacements), mais dépasse 2 pour ceux de plus de 200 km<sup>1</sup>.

Plusieurs études s'accordent sur le fait que, malgré des obstacles multiples, le potentiel du covoiturage régulier n'est pas négligeable<sup>2</sup>. En première approche, l'Ademe estime ainsi qu'il pourrait représenter à moyen terme 5 % des déplacements de courte distance et 30 % des déplacements domicile-travail de moyenne distance<sup>3</sup>, soit un triplement par rapport à la situation actuelle. Ces potentiels diffèrent évidemment d'un territoire à l'autre<sup>4</sup>.

La Stratégie de développement de la mobilité propre (2016) annexée à la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) définissait une cible de 1,8 à 2 personnes en moyenne par véhicule en 2030, en insistant sur le nécessaire développement des aires dédiées et des services numériques facilitant la mise en relation des covoitureurs. Le gouvernement et les acteurs du covoiturage se sont engagés à tripler la part du covoiturage dans les déplacements du quotidien d'ici 2024. Même si la crise sanitaire peut constituer un frein supplémentaire (au moins temporaire) au développement des modes partagés, cette ambition transparaît bien dans le plan de relance du gouvernement qui prévoit des crédits additionnels pour la réalisation de voies réservées.

## 2.2. Les modes actifs

Pour le vélo, en matière de pratique cyclable, la France se signale par un retard certain en comparaison d'autres pays européens. Ainsi, d'après le baromètre Eurostat (2014), les Français ne sont que 4 % à déclarer le vélo comme mode de transport le plus utilisé, contre plus de 35 % aux Pays-Bas, plus de 20 % au Danemark ou en Hongrie, et 9 % en moyenne à l'échelle européenne.

---

<sup>1</sup> Voir la [Stratégie de développement de la mobilité propre](#) (2016).

<sup>2</sup> Cerema (2018), [Covoiturage courte et moyenne distance – Retour d'expériences, freins et leviers](#), rapport d'études, septembre.

<sup>3</sup> Ademe (2015), [Étude nationale sur le covoiturage de courte distance. Leviers d'actions, benchmark et exploitation de l'enquête nationale Transports et déplacements \(ENTD\)](#), Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, rapport final, septembre.

<sup>4</sup> CGDD (2014), « [Le covoiturage pour les déplacements domicile-travail : quel potentiel ?](#) », *Études & documents*, n 107, Commissariat général au développement durable, juin.

À nouveau, ce constat masque des disparités territoriales et locales fortes, perceptibles dans l'évolution des pratiques. On a vu plus haut (Graphique 26) que le vélo couvrait 3,2 % des déplacements locaux en agglomération de plus de 100 000 habitants contre 2,3 % en milieu rural, où la pratique était pourtant la plus forte il y a deux ou trois décennies. De même, si la pratique du vélo a fortement augmenté dans le cœur des grandes villes, elle continue de s'affaïsser en périphérie.

Le potentiel de développement n'en est pas moins très important. En effet, le vélo est particulièrement bien adapté aux déplacements entre 1 et 5 km, et l'essor des vélos à assistance électrique élargit encore ce rayon. Il ne parvient pourtant à capter que 3 % de ces déplacements cibles (1 à 7 km), la voiture individuelle couvrant 65 % des déplacements entre 1 et 2 km, 73 % entre 2 et 3,5 km et 78 % entre 3,5 et 7 km.

Ce potentiel concerne l'ensemble des territoires. La Direction générale des entreprises (DGE) estime ainsi que « la part des déplacements cibles du vélo est [...] de 54 % dans le centre des grandes villes où le vélo se développe, de 65 % dans la périphérie des petites villes où la part du vélo est très faible, et encore de 50 % dans la périphérie des grandes villes et dans les communes multi polarisées »<sup>1</sup>. La Stratégie de déploiement de la mobilité propre déjà citée repose sur l'hypothèse d'une multiplication par 4 de la part modale du vélo d'ici 2030.

À titre de comparaison, signalons que les enjeux se posent de manière significativement différente pour la marche. En effet, son potentiel de développement semble bien moindre dans la mesure où elle parviendrait déjà à capter 60 % à 90 % de ses déplacements cibles (moins de 1 km, d'après la même étude).

### 2.3. Comment calculer les coûts d'abattement ?

La méthodologie de calcul des coûts d'abattement associés aux reports modaux de l'automobile vers le covoiturage ou les mobilités actives reste aujourd'hui exploratoire. Elle l'est plus que celle employée pour le remplacement des véhicules dans la mesure où il s'agit de comparer des usages imparfaitement substituables du point de vue des services rendus et des coûts non marchands associés. Le coût d'abattement est défini alors de la manière suivante :

---

<sup>1</sup> Chiffres issus d'une étude commandée par la DGE, la DGITM et l'Ademe : « [Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France](#) », *Les Dossiers de la DGE*, avril 2020.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{|l}
 \hline
 \text{sur la base du différentiel des} \\
 \text{coûts marchands (achat et/ou} \\
 \text{utilisation du mode de transport)} \\
 \hline
 \text{+ différentiel des coûts non} \\
 \text{marchands (essentiellement} \\
 \text{coût du temps)} \\
 \hline
 \end{array} \\
 \text{Surcoût kilométrique} \\
 \text{pour l'utilisateur} \\
 \text{par rapport à l'usage d'un} \\
 \text{véhicule thermique de référence} \\
 \\
 \begin{array}{|l}
 \hline
 \text{sur la base du différentiel de} \\
 \text{fiscalité et du coût d'opportunité} \\
 \text{des fonds publics} \\
 \hline
 \end{array} \\
 \text{Terme correctif de} \\
 \text{l'impact FiPu} \\
 \\
 \begin{array}{|l}
 \hline
 \text{sur la base du différentiel d'externalités} \\
 \text{« transport » (utilisation des infrastructures,} \\
 \text{congestion)} \\
 \hline
 \text{+ différentiel d'externalités environnementales} \\
 \text{(pollution de l'air, sonore)} \\
 \hline
 \text{+ différentiel des cobénéfices santé} \\
 \hline
 \end{array} \\
 \text{Différentiel de coûts} \\
 \text{kilométriques externes} \\
 \\
 \text{Coût d'abattement} = \frac{\text{Surcoût kilométrique pour l'utilisateur} + \text{Terme correctif de l'impact FiPu} + \text{Différentiel de coûts kilométriques externes}}{\text{Différentiel d'émissions kilométriques en cycle de vie}}
 \end{array}$$

### Coût marchand pour l'utilisateur

La référence pour le calcul des coûts d'abattement est un déplacement seul en véhicule thermique essence de type citadine. Pour le vélo, le coût de l'ordre de 15 c€<sub>2019</sub>/km retenu est issu de différentes études (CGDD<sup>1</sup>, DGE, DGITM et Ademe). Le coût marchand imputé à la marche est nul, celui du covoiturage égal à la moitié du coût d'usage de la voiture seule.

### Coût du temps

Cette composante de coût non marchand est intégralement portée par l'utilisateur. Elle rend compte du coût d'opportunité du temps perdu par l'utilisateur lorsqu'il se déplace, et est évaluée sur la base d'une valeur monétaire de référence issue du rapport Quinet de 2013. Les évaluations proposées doivent prendre en compte les incertitudes sur les vitesses de chaque mode, dans la mesure où l'analyse ne se limite pas aux trajets inférieurs à 5 km en milieu urbain dense.

### Coût externes « transport »

Cet ensemble renvoie : au coût marginal d'utilisation des infrastructures ; aux coûts de congestion ; à un coût du risque, pour l'utilisateur lui-même et pour les autres usagers. Ces deux dernières composantes sont évaluées à partir de statistiques d'accidentologie et d'une estimation de l'exposition aux risques. Pour toutes ces composantes des coûts « transport », la valeur retenue pour le covoiturage correspond à la moitié de celle pour

<sup>1</sup> CGDD (2015), « [Évaluation de la politique de développement de l'usage du vélo pour les transports du quotidien](#) »

l'automobiliste seul, sauf pour le terme d'*insécurité* rendant compte du risque couru par l'usager lui-même qui ne peut être « réparti ».

### **Coûts externes environnementaux**

En ce qui concerne les coûts de pollution de l'air et de pollution sonore, l'analyse peut reprendre ceux utilisés pour l'automobile. On notera que cette composante qui avait un impact non négligeable sur le coût d'abattement des motorisations à faibles émissions (par rapport à une motorisation thermique essence) est ici très faible devant les coûts externes « transport » et les cobénéfices « santé » (ci-dessous). Cela s'explique aussi en partie par le fait que le véhicule pris en référence est un véhicule essence neuf, dont les émissions de polluants sont significativement plus faibles que celles d'un véhicule moyen du parc automobile.

### **Cobénéfices « santé »**

Enfin, l'étude CGDD mobilisée tient compte pour le vélo et pour la marche à la fois d'une baisse du coût (marchand) des soins de santé et aussi de gains (non marchands) pour les usagers qui traduisent une baisse de la mortalité et de la morbidité liées aux accidents. Ces deux composantes doivent être clairement distinguées : la première correspond à une évaluation d'un coût budgétaire évité pour la sécurité sociale ; la seconde renvoie à une notion de bien-être individuel.

## **2.4. Des résultats à manier avec précaution**

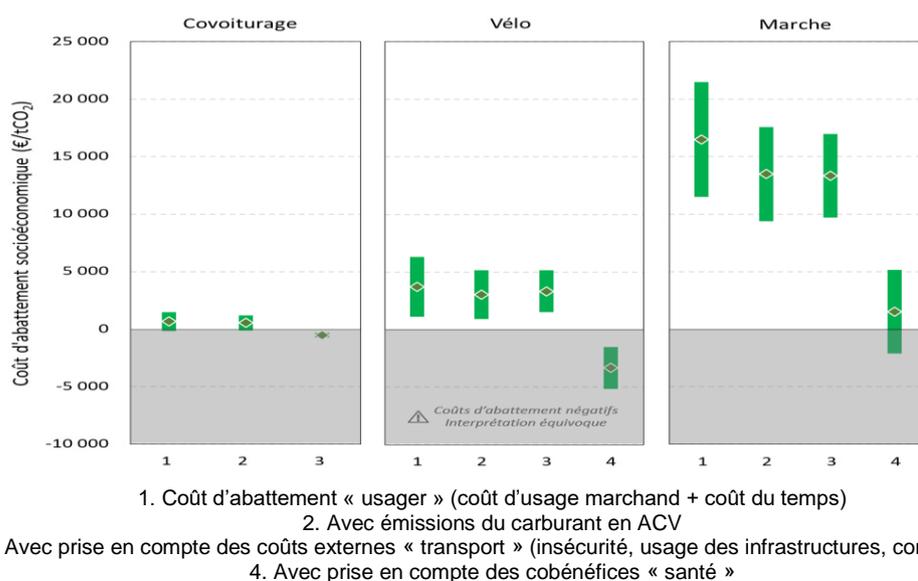
Le Tableau A en Annexe 2 donne le détail d'une comparaison des coûts généralisés du transport pour les modes : marche, vélo, automobile en mode individuel, covoiturage. Sur la base de ces coûts généralisés, on obtient les coûts d'abattement des différentes alternatives à la voiture individuelle étudiées (covoiturage, vélo, marche) en segmentant la prise en compte progressive des composantes (Graphique 27). Ces résultats appellent deux remarques principales, qui concernent tout particulièrement les modes actifs :

- tout d'abord, l'incertitude (et la variabilité, en fonction des milieux d'usage notamment) sur les paramètres induit **une très grande dispersion des valeurs de coûts d'abattement**. Ainsi, toutes composantes socioéconomiques prises en compte, il paraît impossible de tirer des conclusions robustes sur l'intérêt du report vers la marche ;
- surtout, **les coûts d'abattement varient très fortement en fonction des composantes prises en compte**. En particulier, ils sont très élevés lorsqu'on ne tient compte que des coûts directs pour l'usager, du fait de la valeur du temps : les trajets étant plus longs à vélo ou à pied qu'en voiture, la valorisation du temps perdu tire

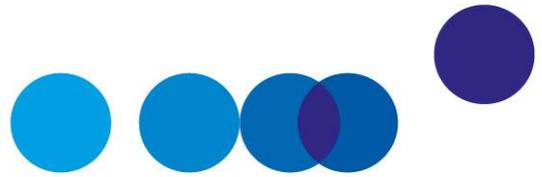
fortement le coût d'abattement à la hausse. À l'inverse, dès lors qu'on intègre les cobénéfices sanitaires, le coût d'abattement baisse drastiquement (jusqu'à être pour la marche possiblement négatif), c'est-à-dire que le bilan socioéconomique de ces pratiques par rapport à l'usage d'une voiture est déjà positif sans même tenir compte de l'impact climatique.

Au final, il apparaît que le coût d'abattement est un indicateur très imparfait pour discuter la pertinence économique d'encourager la pratique des modes actifs (et dans une moindre mesure du covoiturage). Au-delà de la difficulté de comparer des modes imparfaitement substituables, l'incertitude sur le résultat du bilan socioéconomique semble se cristalliser sur deux composantes : le coût du temps d'une part, les gains en termes de santé de l'autre.

**Graphique 27 – Coûts d'abattement du covoiturage, du vélo et de la marche par rapport à l'utilisation d'un véhicule**



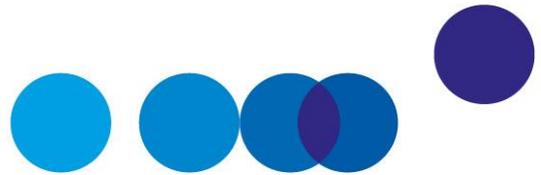
Source : calculs des auteurs



# ANNEXES

---





## ANNEXE 1

# MEMBRES DE LA COMMISSION

---

### Président

**Patrick Criqui**, directeur de recherche émérite CNRS, UMR GAEL, université Grenoble Alpes

### Secrétariat

**Bérengère Mesqui**, coordinatrice, France Stratégie

**Julien Bueb**, France Stratégie

**Stéphane Crémel**, Direction générale du Trésor

**Maxime Gérardin**, France Stratégie

**Olivier de Guibert**, Commissariat général au développement durable

**Silvano Domergue**, Commissariat général au développement durable

**Boris Le Hir**, France Stratégie

**Aude Pommeret**, France Stratégie

**Gauthier Vermandel**, France Stratégie

### Membres

**Émilie Alberola**, directrice Innovation et Recherche, Eco'Act

**Yasmine Arsalane**, Agence internationale de l'énergie

**Emmanuel Combet**, ADEME

**Dominique Bureau**, délégué général, Conseil économique pour le développement durable (CEDD)

**Antoine Dechezleprêtre**, OCDE

**Jean-Guy Devezeaux de Lavergne**, I-Tesé

**Matthieu Glachant**, professeur d'économie, Mines Paristech

**Joseph Hajjar**, Direction générale de l'Énergie et du Climat

**Jan Horst Keppler**, professeur d'économie, université Paris-Dauphine

**David Marchal**, ADEME

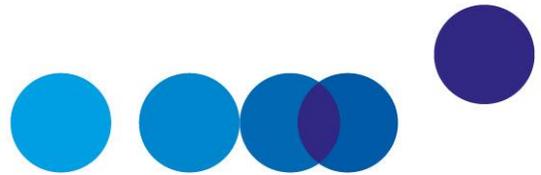
**Yves Marignac**, Association Négawatt

**Andrew Prag**, Agence internationale de l'énergie (AIE)

**Yannick Pérez**, CentraleSupélec

**Cédric Philibert**, université Paris-Dauphine

**Philippe Quirion**, CNRS-CIRED



## ANNEXE 2

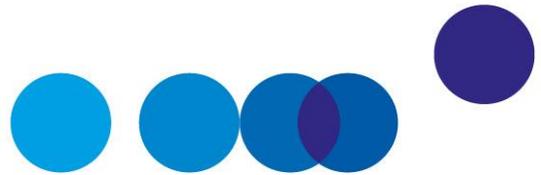
# SYNTHÈSE DES COMPOSANTES DES COÛTS GÉNÉRALISÉS ÉVALUÉS POUR CHAQUE ALTERNATIVE MODALE ÉTUDIÉE

**Tableau A – Synthèse des composantes de coûts généralisés évaluées pour chaque alternative modale étudiée**

	c€ <sub>2019</sub> /(pass.km)	Voiture solo	Vélo	Marche	Covoiturage
Coûts « usager » marchands	Coût marchand <i>dont TICPE</i>	[15 ; 25] 5	[10 ; 20]	-	[10 ; 15] < 5
Coûts « usager » non marchands	Coût du temps	[20 ; 40]	[65 ; 95]	[215 ; 320]	[25 ; 60]
Coûts externes « transport »	Insécurité	5	20	15	< 5
	Coût marginal d'utilisation des infrastructures	< 5	-	-	< 5
	Congestion	[5 ; 20]	[0 ; 5]	-	[< 5 ; 10]
Coûts externes environnement	Pollution locale	< 5	-	-	< 5
	Bruit	< 5	-	-	< 5
Cobénéfices « santé »	Santé	-	- 110	- 195	-
	<i>dont coût des soins de santé</i>		10	20	
	<i>dont coût pour les entreprises des arrêts maladies</i>		5		
Émissions GES kilométriques <i>en gCO<sub>2</sub>/(pass.km)</i>	165 (135)	-	-	85 (70)	

Source : rapport Quinet 2013, CGDD, Ademe





## ANNEXE 3

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### Sources générales

CGSP (2013), *L'Évaluation socioéconomique des investissements publics*, rapport de la mission présidée par Émile Quinet, Commissariat général à la stratégie et à la perspective, septembre.

Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020), *Projet de Stratégie nationale bas-carbone*, janvier.

### Sources par levier

#### **Changement de motorisation – cas des VP**

Ademe (2018), *Bilan transversal de l'électrification par segment. Projet E4T*, rapport, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, avril.

Ademe (2016), « *Les potentiels du véhicule électrique* », *Les Avis de l'Ademe*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, avril.

Berckmans G., Messagie M., Smekens J., Omar N., Vanhaberbeke L. et Van Mierlo J. (2017), « *Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030* », *Energies*, 10(9), MDPI, septembre.

CGDD (2017), « *Analyse coûts-bénéfices des véhicules électriques. Les voitures* », *Analyse théma transport*, Commissariat général au développement durable, juillet.

France Stratégie (2018), *Les Politiques publiques en faveur des véhicules à très faibles émissions*, par D. Auverlot, N. Meilhan, B. Mesqui et A. Pommeret, rapport, mai.

Miotti M., Hofer J. et Bauer C. (2015), « *Integrated environmental and economic assessment of current and future fuel cell vehicles* », octobre.

Morrison G., Stevens J. et Joseck F. (2018), « *Relative economic competitiveness of light-duty battery electric and fuel cell electric vehicles* », *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, n° 87, février, p. 183-196.

RTE (2019), *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique. Principaux résultats*, Réseau de transport d'électricité, mai.

Schmidt O., Hawkes A., Gambhir A. et Staffell I. (2017), « *The future cost of electrical energy storage based on experience rates* », *Nature Energy*, n° 2, juillet.

### **Décarbonation des vecteurs énergétiques – cas des biocarburants**

Ademe (2010), « *Analyses de cycle de vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France* », synthèse, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, février.

CGDD (2013), « *Bilan carbone des biocarburants : vers une prise en compte des changements indirects d'affectation des sols* », *Études & documents*, n° 73, Commissariat général au développement durable, mars.

Low Carbon Energy Observatory (2019), *Sustainable Advanced Biofuels. Technology Market Report*.

Sénat (2019), *Rapport d'information sur la filière française des biocarburants*, par Pierre Cuypers, novembre.

USDA Foreign Agricultural Service (2019), *EU Biofuels Annual 2019*, mai.

### **Performance énergétique – cas des PL**

Europe Climate Foundation (2018), *Decarbonising Road Freight in Europe. A Socio-Economic Assessment*, Cambridge Econometrics, août.

ICCT/Pollution Probe (2015), « *Costs and adoption rates of fuel-saving technologies for trailers in the Canadian on-road freight sector* », par B. Sharpe, D. May, B. Olivier et H. Mansour, White Paper, février.

LLorca M. et Jamasb T. (2017), « *Energy efficiency and rebound effect in European road freight transport* », *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, n° 101, juillet, p. 98-110.

### **Report modal**

#### **Fret ferroviaire**

CGDD (2017), « *Le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires. Étude exploratoire* », *Analyse thème transport*, Commissariat général au développement durable, juillet.

#### **Vélo**

CGDD (2015), « *Évaluation de la politique de développement de l'usage du vélo pour les transports du quotidien* », dans *Les comptes des transports en 2013*, t. II, *Dossiers*

*d'analyse économique des politiques publiques des transports*, coll. « Références », Commissariat général au développement durable, octobre, p. 47-72.

CGDD (2016), « [L'intermodalité vélo-train : une évaluation socio-économique des bénéfices](#) », *Essentiel théma transport*, Commissariat général au développement durable, décembre.

Gössling S. et Choi A. S. (2015), « [Transport transitions in Copenhagen: comparing the cost of cars and bicycles](#) », *Ecological Economics*, vol. 113, mai, p. 106-113.

### **Optimisation des remplissages – cas du covoiturage**

CGDD (2016), « [Covoiturage longue distance : état des lieux et potentiel de croissance](#) », *Études & documents*, n° 146, Commissariat général au développement durable, mai.

### **Découplage demande de mobilité/PIB**

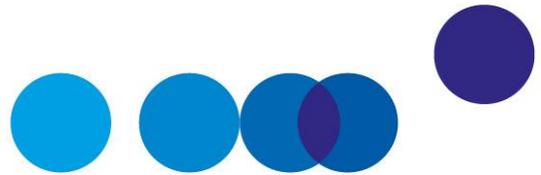
CGDD (2016), « [Projection de la demande de transport sur le long terme](#) », *Analyse théma transport*, Commissariat général au développement durable, juillet.

## **Autres**

ICCT (2016), « [Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions](#) », par P. Wolfram et N. Lutsey, Working Paper, n° 2016-14, juillet.

Offer G.J., Hower D., Contestabile M., Clague R. et Brandon N. P. (2009), « [Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system](#) ».





Directeur de la publication

**Gilles de Margerie, commissaire général**

Directeur de la rédaction

**Cédric Audenis, commissaire général adjoint**

Secrétaires de rédaction

**Olivier de Broca, Gladys Caré, Anaïs Teston**

Contact presse

**Matthias Le Fur, directeur du service Édition/Communication/Événements**

**01 42 75 61 37, [matthias.lefur@strategie.gouv.fr](mailto:matthias.lefur@strategie.gouv.fr)**

RETROUVEZ  
LES DERNIÈRES ACTUALITÉS  
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



[www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)



[@Strategie\\_Gouv](https://twitter.com/Strategie_Gouv)



[france-strategie](https://www.linkedin.com/company/france-strategie)



[FranceStrategie](https://www.facebook.com/FranceStrategie)



[@FranceStrategie\\_](https://www.instagram.com/FranceStrategie_)



[StrategieGouv](https://www.youtube.com/StrategieGouv)

Les opinions exprimées dans ce rapport engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du gouvernement.



**FRANCE STRATÉGIE**



Institution autonome placée auprès du Premier ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement. Les résultats de ses travaux s'adressent aux pouvoirs publics, à la société civile et aux citoyens.