



Les externalités du marché de l'automobile

Sylvain Chassang, Université de Princeton et membre du CAE, **Antoine Lopes**, CAE

Le marché de l'automobile génère un grand nombre d'externalités, c'est-à-dire des effets indirects que les décisions individuelles des consommateurs ou des producteurs ont sur la société, sans que ces effets ne soient pris en compte dans les prix. Ce *Focus* analyse les externalités du marché de l'automobile et cherche à quantifier l'importance de trois phénomènes clés pour l'élaboration de politiques publiques : 1) l'effet retardé des émissions de gaz à effet de serre, 2) l'effet rebond sur le marché du pétrole et 3) les fuites de carbone via le marché de l'occasion.

Comptabilité des externalités

Le modèle présenté ici permet d'identifier les différents canaux via lesquels une politique publique peut affecter les externalités associées au marché automobile. L'analyse des externalités commence à une date initiale, appelée ici $t = 0$. Pour chaque année t , la valeur actuelle nette des externalités négatives liées au transport intérieur dépend de trois éléments. Pour chaque véhicule en circulation, elle est calculée à partir :

- du nombre de kilomètres parcourus dans l'année par le véhicule i , noté $K_{i,t}$;
- de la valeur actualisée des externalités par kilomètre pour ce véhicule à cette date¹, notée $X_{i,t}$ (cette valeur englobe notamment les émissions de gaz à effet de serre générées par ce kilométrage).
- du nombre de voitures en circulation à cette date, noté N_t

En somme, les externalités totales à une date donnée correspondent à la somme, sur l'ensemble des véhicules, des kilomètres parcourus multipliés par les impacts environnementaux associés à ces kilomètres.

$$D_t = \sum_{i=1}^{N_t} K_{i,t} X_{i,t}$$

Notons \bar{K}_t la moyenne du kilométrage annuel $(K_{i,t})_{i \in \{1, \dots, N_t\}}$, \bar{X}_t la moyenne des externalités par kilomètre $(X_{i,t})_{i \in \{1, \dots, N_t\}}$, et $\text{Cov}(K_t, X_t)$ la covariance du kilométrage annuel et des externalités par kilomètre $(K_{i,t}, X_{i,t})_{i \in \{1, \dots, N_t\}}$. Ce dernier terme reflète la façon dont les véhicules les plus utilisés sont aussi (ou non) ceux qui polluent le plus. Nous pouvons exprimer les externalités liées au marché domestique de l'automobile l'année t de la façon suivante :

$$D_t = \underbrace{N_t}_{\text{taille de la flotte}} \times \underbrace{K_t}_{\text{utilisation}} \times \underbrace{X}_{\text{valeur des externalités/km}} \times \underbrace{\left(\frac{1 + \text{Cov}(K_t, X_t)}{\bar{K}_t \bar{X}_t} \right)}_{\text{inverse de la qualité d'appariement } \bar{iM}_t}$$

$$\equiv N_t \times K_t \times X_t \times \bar{iM}_t \quad (1)$$

où \bar{iM}_t désigne l'inverse de la qualité d'appariement entre le kilométrage et les externalités : si les véhicules les plus polluants sont aussi ceux qui roulent le plus, alors \bar{iM}_t est supérieur à 1 et les externalités totales sont amplifiées. À l'inverse, si les véhicules polluants roulent peu, \bar{iM}_t est inférieur à 1. Cette décomposition permet ainsi de distinguer l'effet du nombre de véhicules, de leur utilisation moyenne, de leur impact environnemental moyen par kilomètre et de la manière dont ces deux dernières dimensions sont corrélées.

Comme les politiques nationales peuvent affecter les marchés internationaux, les externalités agrégées A_t associées au transport de l'année t s'écrivent :

$$A_t = D_t + G_t$$

où G_t capture la valeur actuelle nette des externalités dues à l'impact des politiques publiques domestiques sur les marchés mondiaux. Par exemple, si la politique nationale affecte le marché du pétrole, cet effet sera pris en compte à travers son impact sur G_t . Les externalités cumulées de la période 0 à l'horizon H s'écrivent :

$$C_0^H = \sum_{t=0}^H A_t = \sum_{t=0}^H D_t + G_t$$

* Les auteurs sont particulièrement redevable à : Madeleine Péron, Jean Beuve et Claire Lanvin pour leur soutien organisationnel tout au long du projet. Ils remercient les organismes qu'ils ont consultés : UFC-Que choisir, DITP, BPI France, Crédit Mutuel. Les conversations avec Allan Collard-Wexler, Faustine Gaynard, Anne-Sophie Hacquin, Emeline Keundjian, Camille Landais, Robert Metcalfe, Pierre Nordmann, Camille Rozier, Serap Sahin et Séverine Toussaerts ont grandement enrichi leur compréhension du sujet et façonné la direction de ce travail. Sylvain Chassang remercie avec gratitude le Centre de recherche en organisation industrielle de l'université de Princeton pour son financement.

¹ À usage moyen (12 000 km/an) un véhicule thermique émettant environ 100g CO₂/km émet 1,2 t de CO₂ par an. Selon les estimations de EPA (2023), le coût social des émissions de GES serait d'environ 350 euros. Les estimations plus élevées de Bilal and Känzig (2024) impliquent un coût social d'environ 1 400 dollars par véhicule.

Un changement de politique, noté par ΔP , induit un changement ΔA_t dans les externalités agrégées l'année t prenant la forme :

$$\begin{aligned} \Delta A_t = & \Delta D_t + \Delta G_t \\ \text{avec } \Delta D_t = & \Delta N_t \times \bar{K}_t \times \bar{X}_t \times \bar{iM}_t + N_t \times \Delta \bar{K}_t \times \bar{X}_t \times \bar{iM}_t \\ & + N_t \times \bar{K}_t \times \Delta \bar{X}_t \times \bar{iM}_t + N_t \times \bar{K}_t \times \bar{X}_t \times \Delta \bar{iM}_t \end{aligned}$$

Autrement dit, une politique publique peut modifier les externalités en agissant sur plusieurs leviers : la taille du parc automobile, le kilométrage moyen par véhicule, l'impact environnemental moyen du parc, l'adéquation entre les véhicules et leurs usages, et, enfin, les effets indirects sur les marchés mondiaux. Il est donc important lors de l'évaluation d'une politique publique d'évaluer (au moins approximativement) l'ensemble de ces leviers. Par exemple :

- les subventions qui encouragent l'adoption de véhicules électriques (VE) peuvent améliorer la composition du parc et réduire les externalités moyennes par km ($\Delta \bar{X} < 0$), mais elles peuvent également augmenter la taille du parc ($\Delta \bar{N} > 0$);
- une politique qui incite les concessionnaires à mieux évaluer les besoins de leurs clients peut réduire les émissions ($\Delta \bar{X} < 0$) sans changer la taille du parc ($\Delta \bar{N} \approx 0$);
- un programme encourageant les gens à conduire moins souvent pourrait réduire l'utilisation ($\Delta \bar{X} < 0$); un programme qui tolère des véhicules à émissions plus élevées, mais limite leur kilométrage annuel peut améliorer l'adéquation ($\Delta \bar{iM} < 0$);
- enfin, une politique qui réduit avec succès la consommation de pétrole en Europe de 50 % pourrait entraîner une baisse des prix du pétrole, augmentant ainsi la consommation de pétrole ailleurs ($\Delta G > 0$).

Ce *Focus* se concentre sur trois mécanismes essentiels pour comprendre les effets des politiques publiques dans le secteur automobile :

- L'effet retardé des émissions sur les températures: la hausse des températures actuelle est le résultat des émissions des années 1970 à 2000. Plus les émissions ont lieu tôt, plus elles affectent fortement les températures à l'horizon 2050 et 2100.
- L'effet rebond potentiel d'une baisse de la demande sur le marché du pétrole: une baisse de la demande de pétrole par les pays européens se traduit-elle par une baisse équivalente de la production mondiale ?
- Les fuites de carbone via le marché de l'occasion : quel est l'impact net d'un renouvellement de véhicule thermique (VT) lorsque celui-ci est revendu sur le marché de l'occasion et continue potentiellement à émettre ?

L'impact retardé des émissions sur les températures

Notre perception du changement climatique repose souvent sur ce que nous observons aujourd'hui : les températures particulièrement élevées des dix dernières années. Pourtant, ces hausses de température sont en réalité la conséquence d'émissions de CO₂ survenues plusieurs décennies auparavant. Cet effet de décalage dans le temps entre les émissions et leur impact climatique rend d'autant plus cruciale l'adoption rapide de politiques publiques visant à réduire les émissions dans un avenir très proche ([Chassang, 2025a](#)).

Il existe aujourd'hui une variété de modèles permettant de quantifier l'impact du réchauffement climatique ([Nordhaus 1991, 1993, 2014, 2017](#); [EPA 2023](#)). Dans le contexte de cette analyse, le modèle simplifié utilisé par [Nordhaus \(1991\)](#) permet de mettre en évidence les mécanismes essentiels.

La température T et la concentration atmosphérique de CO₂ M sont déterminées par le système dynamique suivant :

$$\dot{T} = \alpha(\mu M - T) \text{ et } \dot{M} = \beta E - \delta M$$

Le paramètre α représente la vitesse de convergence des températures vers la température d'équilibre μM associée à la concentration atmosphérique de CO₂, M . Le paramètre β désigne la fraction des émissions E de CO₂ qui reste dans l'atmosphère, tandis que δ correspond au taux d'élimination du CO₂ atmosphérique. Suivant [Nordhaus \(1991\)](#), les simulations fixent α à 0,02 et δ à 0,005.

Un changement ponctuel d'émissions ΔE à la date $t = 0$ induit un changement de température ΔT_t tel que $\Delta T_0 = 0$ et

$$\Delta T_t \propto [\exp(-\delta t) - \exp(-\alpha t)] \Delta E^2$$

Plus généralement, une séquence de changements d'émissions $(\Delta E_s)_{(s \geq 0)}$ produit une séquence de changements de température $(\Delta T_t)_{(t \geq 0)}$ donnée par

$$\Delta T_t \propto \sum_{s \leq t} [\exp(-\delta(t-s)) - \exp(-\alpha(t-s))] \Delta E_s \quad (4)$$

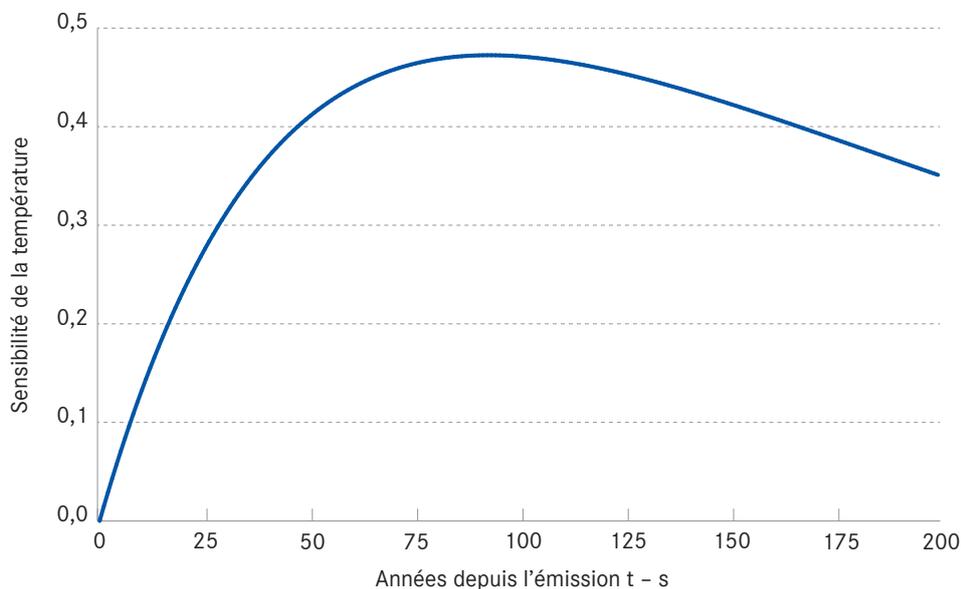
Le coefficient $\exp(-\delta(t-s)) - \exp(-\alpha(t-s))$ exprime la sensibilité de la température à la date t aux émissions survenues à la date s . Ainsi, les émissions récentes ont un effet quasi nul sur les températures actuelles, mais affectent significativement les températures futures.

Comme le montre la **Figure 1**, pour des valeurs de paramètres $\delta = 0,005$, et $\alpha = 0,02$, la sensibilité de la température aux émissions augmente rapidement au cours des 25 à 50 premières années après l'émission et reste élevée pendant les 100 années suivantes. Cela signifie que l'effet des émissions de GES sur la température augmente pendant les 75 premières années, puis reste élevé pendant 100 années supplémentaires. Les émissions de GES sont ainsi une externalité à la fois globale et intergénérationnelle : nos émissions affecteront principalement les générations futures.

Émissions cumulées et dommages cumulés

Les publications grand public utilisent souvent les émissions cumulées, $CE_{0,t} \equiv \sum_{s=0}^t \Delta E_s$, comme un indicateur des dommages associés à un scénario d'émissions. Pourtant, comme nous l'avons vu précédemment, cette mesure ne reflète pas complètement l'ampleur réelle des dommages climatiques. Au lieu de cela, pour évaluer les effets dans les 75 prochaines années, il est préférable de penser la température comme l'intégrale des émissions cumulées, et les dommages cumulés comme une double intégrale des émissions cumulées.

Figure 1. Sensibilité de la température à la date t aux émissions de la date s



En effet, dans l'intervalle des 75 premières années après l'émission, les coefficients de sensibilité représentés dans la **Figure 1** croissent à peu près linéairement dans le temps. Cela signifie que pour $t \leq 75$, une approximation raisonnable de (4) est :

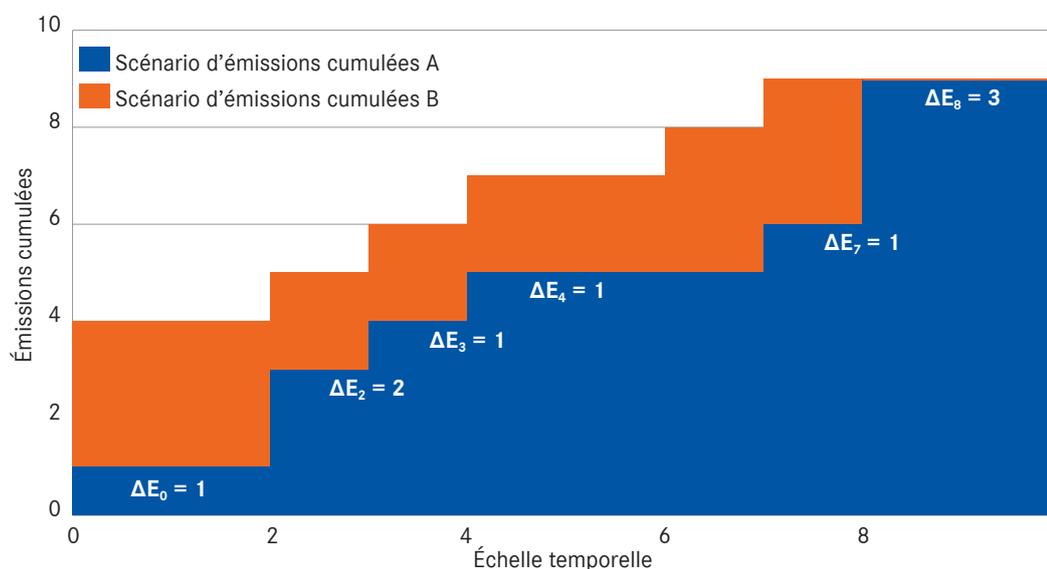
² Le symbole \propto signifie « proportionnel à un facteur constant près ».

$$\begin{aligned} \Delta T_t &\propto \sum_{s=0}^t (t-s) \Delta E_s = \sum_{s=0}^t \sum_{r=s}^{t-1} \Delta E_s = \sum_{s=0}^{t-1} \sum_{r=0}^s \Delta E_r \\ &\propto \sum_{s=0}^{t-1} C E_s \end{aligned} \tag{5}$$

En d'autres termes, au cours des 75 prochaines années, les changements de températures ΔT dépendent de la somme des émissions cumulées précédentes (**Figure 1**). Les dommages climatiques cumulés sont eux-mêmes proportionnels à la somme des changements de températures: $CC_{0,H} \propto \sum_{t=0}^H \Delta T_t$.

Une implication de (5) est qu'à moyen terme, plus les émissions ont lieu tôt, plus elles ont le temps de s'accumuler et de réchauffer la planète. Cela signifie qu'à émissions cumulées fixées, il faut préférer le profil d'émissions dans lequel les émissions sont retardées. La **Figure 2** illustre des trajectoires d'émissions différentes dans le temps : une première trajectoire où les émissions augmentent progressivement et une seconde où une grande partie des émissions a lieu en début de période. Même si les émissions cumulées sont équivalentes, la seconde trajectoire engendre une température plus élevée sur la période, et donc des dommages plus importants.

Figure 2. Émissions cumulées et impact sur la température



Note : Sur le moyen terme, les températures excédentaires sont l'intégrale des émissions excédentaires cumulées.

Lecture : Sur les deux premières périodes, le scénario A cumule 1 volume d'émissions contre 4 pour le scénario B. Entre la deuxième et la troisième période, les volumes d'émissions sont identiques. Toutefois, l'aire sous la courbe reste plus importante dans le scénario B, ce qui indique un impact plus élevé sur les températures.

Deux exemples permettent d'illustrer comment cette logique peut s'appliquer : le premier compare l'effet d'une réduction immédiate des usages (et donc des émissions) et celui d'une transition progressive vers des ventes 100 % électriques à l'horizon 2035 ; le second compare l'impact climatique émissions fixes et variables des véhicules thermiques et électriques, selon que l'électricité est produite avec l'intensité carbone française ou européenne.

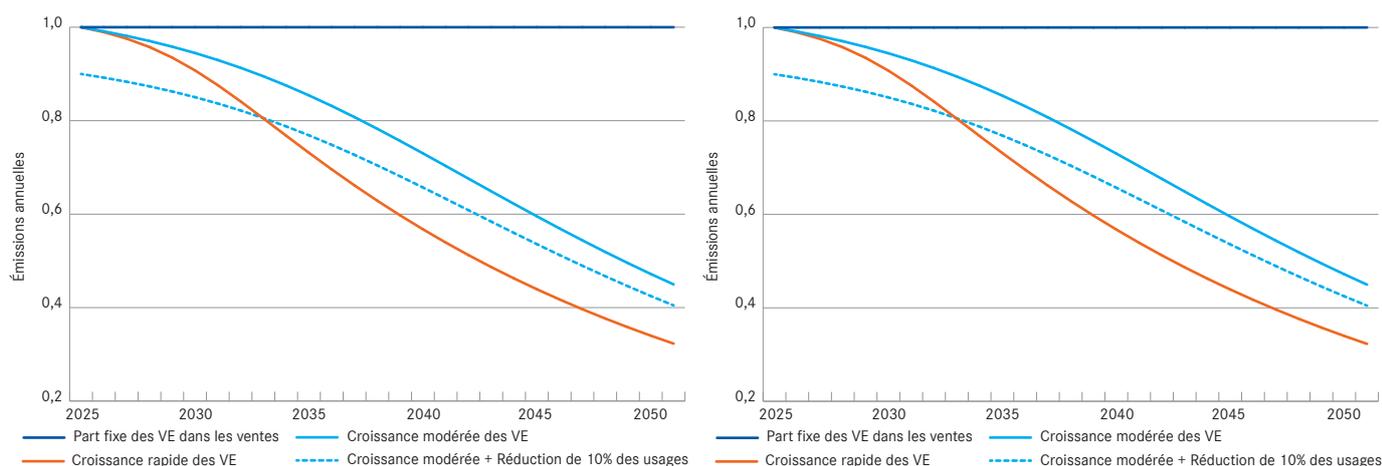
Exemple 1 : Réduire l'usage ou accélérer l'adoption des véhicules électriques ?

La simulation suivante compare l'effet d'une réduction immédiate de 10 % de l'usage des véhicules à celui d'une transition accélérée vers le véhicule électrique (VE), en opposant deux scénarios : l'un avec une forte croissance des ventes (98 % de VE en 2035), l'autre avec une croissance plus modérée (60 % de VE en 2035)³.

³ Ces scénarios font l'hypothèse d'un marché stationnaire et d'un taux de renouvellement annuel de 5 %.

La **Figure 3** montre qu'à l'horizon 2050, les émissions annuelles sont plus faibles dans le scénario de forte croissance des ventes de VE que dans le scénario de croissance moyenne des ventes de VE, même en réduisant de 10 % des usages. Cependant, la modération des usages a l'avantage de réduire immédiatement les émissions. Comme vu précédemment, les émissions produites en début de période ont un impact plus important sur la hausse des températures dans les décennies suivantes. Ainsi, entre 2035 et 2050, l'élévation de température est en réalité plus marquée dans le scénario de forte croissance des ventes (courbe orange) que dans le scénario plus conservateur accompagné d'une réduction de l'usage (courbe bleue pointillée). Cela ne remet pas en cause la nécessité de soutenir une croissance rapide des ventes de VE, indispensable pour réduire les émissions à long terme. Mais cette comparaison souligne que la réduction des usages constitue un levier puissant et immédiat, qui mérite d'être pleinement pris en compte dans les politiques publiques.

Figure 3. Scénarios de transition et leur impact, par rapport à la fixation de la part des VE dans les ventes à leur niveau actuel



Notes : Pour plus de lisibilité, émissions et changements de températures sont rapportés aux émissions et changements de température dans un scénario où la part des VE dans les ventes resterait fixe.
Lecture : En 2040, le scénario de croissance rapide permettrait une réduction d'environ 47 % des émissions par rapport au scénario avec part fixe de VE dans les ventes et une baisse de 12 points de l'indice d'impact sur les températures. Le scénario de croissance modérée accompagnée d'une réduction des usages permet une réduction de 37% des émissions mais une baisse de 16 points de l'indice d'impact sur les températures
Source : Calcul de l'auteur

Exemple 2 : Émissions fixes ou variables

Les véhicules électriques et thermiques ont des profils temporels d'émission différents dans le temps : les véhicules électriques génèrent davantage d'émissions fixes (principalement à la fabrication), mais beaucoup moins d'émissions variables (liées à l'usage).

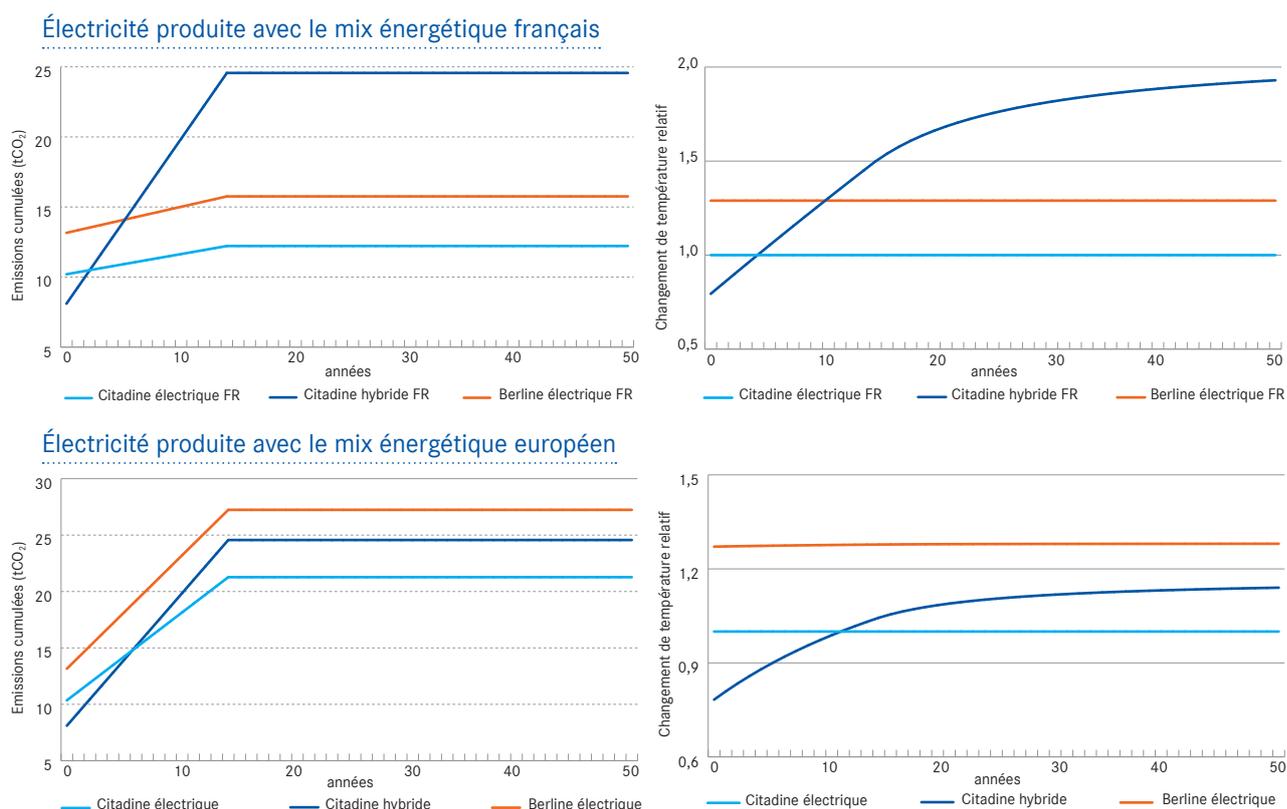
La simulation qui suit, illustrée **Figure 4**, compare l'impact climatique, en émissions et en température, de trois types de voitures, une citadine électrique (similaire à une Zoe : 1,45 t), une citadine hybride (similaire à une Clio eTech : 1,26 t) et une berline électrique de taille moyenne (similaire à une Tesla Model 3 : 1,87 t), selon que l'électricité est produite avec l'intensité carbone française ou européenne⁴. La simulation fait l'hypothèse que chaque véhicule est conduit 12 000 km par an pendant 14 ans et que leurs émissions de CO₂ fixes et variables sont présentées en **Tableau 1**. L'impact climatique des émissions est mesuré sur un horizon de 50 ans, en tenant compte de leur effet différé sur les températures. Les changements de température sont exprimés en écart relatif par rapport au modèle le plus sobre : la citadine électrique.

Tableau 1. Hypothèses sur les émissions fixes et variables

Émissions	Fixes (tCO ₂)	Variables FR (gCO ₂ /km)	Variables EU (gCO ₂ /km)
Citadine électrique	10,3	12	65
Berline électrique	13,2	15,5	84
Citadine hybride	8,1	98	98

⁴ L'intensité carbone de l'électricité française est 5 fois plus basse que la moyenne européenne.

Figure 4. Émissions, augmentations de température et coûts cumulés pour différentes voitures



Trois points méritent d'être soulignés. Tout d'abord, pour une intensité carbone correspondant au mix électrique française, malgré des émissions fixes plus élevées, les modèles électriques ont un impact de moyen terme beaucoup plus faible sur les températures. Deuxièmement, en l'état actuel, ce constat ne tient pas pour l'Europe dont l'électricité est plus « carbonée » : un petit modèle hybride a un impact cumulé sur les températures plus faible qu'un modèle électrique lourd. Enfin, même dans un mix électrique peu carboné, le poids reste une variable clé. À horizon 2050, un hybride léger a un impact 40 % plus élevé qu'un gros véhicule électrique, mais ce dernier émet 30 % de plus qu'un petit véhicule électrique.

Dans un contexte d'interconnexion croissante des réseaux européens, une question légitime se pose : faut-il prendre en compte le mix électrique français ou européen pour évaluer les émissions des véhicules électriques rechargés en France ? Les interconnexions transfrontalières restant limitées ($\approx 10\%$ de la puissance électrique française), il est raisonnable de considérer que l'électricité consommée par les véhicules électriques en France provient majoritairement du mix national.

Effet rebond via le marché du pétrole

Les effets d'équilibre modifient souvent l'évaluation coût-bénéfice des politiques publiques. Cette section et celle qui suit s'intéressent à deux mécanismes de ce type et évaluent leur potentiel à réduire l'efficacité des politiques climatiques ; l'un via le marché du pétrole et l'autre via le marché du véhicule d'occasion⁵.

Cette section s'attache à évaluer un potentiel effet rebond via le marché pétrolier mondial. Si la consommation d'hydrocarbures en Europe diminue, le pétrole restera-t-il dans le sol, ou, comme le craint [Fressoz \(2024\)](#), l'Opep décidera-t-elle

⁵ Un troisième effet d'équilibre est que l'augmentation de l'efficacité des véhicules peut augmenter leur usage, réduisant les économies d'émissions potentielles. [Coglianese et al. \(2017\)](#), [Levin, Lewis et Wolak \(2017\)](#), [Knittel et Tanaka \(2019\)](#) suggèrent que l'élasticité des kilomètres parcourus par rapport au coût du carburant est d'environ $-0,3$. En conséquence, doubler l'efficacité énergétique des voitures réduit la consommation totale de carburant de 40 % plutôt que de 50 %.

de réduire les prix du pétrole afin d'augmenter les ventes dans les pays en développement⁶? Cette question est essentielle pour évaluer l'efficacité des efforts européens de réduction des émissions dans leur ensemble.

Deux caractéristiques du marché du pétrole doivent être prises en compte. Tout d'abord, le marché du pétrole est cartellisé : le prix du pétrole est artificiellement élevé par rapport à ce qu'il serait dans un marché concurrentiel. Ce niveau de prix plus élevé réduit mécaniquement la demande et donc les émissions de GES ([Buchanan, 1969](#); [Borenstein et Kellogg, 2023](#)). [Asker et al. \(2024\)](#) estiment que, depuis 1970, l'Opep a contribué à éliminer suffisamment de GES (entre 15 et 20 % des économies de carbone nécessaires pour atteindre l'objectif de 1,5 °C) pour que sa taxation implicite ait eu un impact net positif. Bien sûr, il serait préférable pour les consommateurs que les recettes fiscales leur soient restituées sous forme de dépenses publiques ou de transferts directs, plutôt que de servir de rente aux extracteurs.

Deuxièmement, les producteurs exploitent une ressource approximativement fixe de manière dynamique. Dans ce contexte, une baisse de la demande peut donner lieu à « un paradoxe vert » ([Sinn, 2008](#)) : les producteurs peuvent être incités à extraire davantage à court terme, tant que la demande est suffisante, de peur que le pétrole ne perde de sa valeur à l'avenir, ce qui entraîne des émissions plus élevées et plus précoces. [Kellogg \(2024\)](#) explore cette possibilité en tenant compte des investissements de long terme nécessaires pour augmenter l'extraction. Les résultats sont ambigus. Le paradoxe vert ne se produit pas dans la configuration privilégiée par l'auteur, mais ne peut être complètement exclu.

Pour évaluer l'impact d'une réduction de la consommation de pétrole de l'UE sur les marchés pétroliers, cette section calibre un modèle très simplifié d'extraction de l'Opep. Bien qu'il soit très stylisé par rapport à ceux utilisés par [Asker et al. \(2024\)](#) ou [Kellogg \(2024\)](#), ce modèle permet de quantifier de manière transparente les ordres de grandeur en jeu.

Comme [Asker, Collard-Wexler et De Loecker \(2019\)](#) l'observent, le marché du pétrole inclut un grand producteur, l'Opep, faisant face à une demande ainsi qu'à une frange de petits producteurs compétitifs. Les estimations de [Asker et al. \(2024\)](#) suggèrent que le coût de production de la frange concurrentielle, plutôt que l'élasticité de la demande, est le principal facteur qui limite les marges de l'Opep. Sans cette concurrence, le prix du pétrole dépasserait 150 dollars par baril. En conséquence, de petits changements dans la demande sont peu susceptibles de conduire à une forte baisse des prix à moyen terme et, par conséquent, sont susceptibles d'avoir un faible effet de rebond⁷.

Ce diagnostic est confirmé par la calibration stylisée décrite ci-dessous.

Demande

Nous supposons que la demande mondiale est modélisée comme la somme de deux composantes, correspondant à la demande européenne et à la demande hors UE :

$$D(p) = 0,05 p^{-0,2} + 0,9 p^{-0,5}$$

où -0,2 est l'élasticité de la demande européenne au prix du pétrole, et -0,5 est l'élasticité de la demande hors UE au prix du pétrole. Le ratio des coefficients 0,05 et 0,9 est choisi pour qu'à un prix de 80 dollars par baril, la demande de l'UE représente environ 10 % de la consommation mondiale.

Dans un scénario de demande réduite, la demande de l'UE est divisée par 50 %, ce qui donne une demande agrégée D_R égale à :

$$D_R(p) = 0,025 p^{-0,2} + 0,9 p^{-0,5}$$

Offre

Les producteurs de pétrole incluent une frange concurrentielle maximisant les profits de court terme et l'Opep.

⁶ Même si le changement des prix du pétrole dû à une plus grande adoption des VE est faible, ce petit changement de prix affecte un marché très vaste, de sorte que le changement ultime de la demande de pétrole à travers les effets d'équilibre général de rebond est proportionnel à la baisse de la demande des voitures à moteur à combustion interne. Dans le cas d'une offre et d'une demande linéaires, la taille de l'effet de rebond en tant que part du changement de demande est indépendante du changement de demande.

⁷ L'impact de la demande sur les prix à court terme est bien plus élevé : l'élasticité de l'offre à court terme est faible.

Les externalités du marché automobile

L'offre de la frange concurrentielle prend la forme :

$$S^c(p) = \begin{cases} 0 & \text{si } p < 30 \\ 0,003 \times (p-30) & \text{si } p \in [30, 70[\\ \min \{0,003 \times 40 + 0,1 \times (p-70), 0,5\} & \text{si } p \geq 70 \end{cases}$$

Cette offre représente une capacité de production croissant avec le prix, sans contrainte de réserve. Les paramètres de la fonction d'offre sont choisis pour que la frange concurrentielle produise l'essentiel de la demande mondiale lorsque le prix du pétrole est supérieur à 80 dollars par baril.

L'Opep dispose de réserves totales égales à 11,8. Cela est calibré de sorte que la demande annuelle totale à un prix de 80 dollars soit égale à 1,5 % des réserves de l'Opep. Le coût marginal d'extraction c de l'Opep est égal à 10 dollars par baril, et son facteur d'actualisation est $\delta = 0,98$.

Le choix dynamique de production par l'Opep est extrêmement simplifié. L'Opep choisit une fois pour toutes un volume d'extraction constant e sur les 100 prochaines années. Étant donné e , les réserves $R_{e,t}^o$ et l'offre $S_{e,t}^o$ de l'Opep évoluent comme suit :

$$R_{e,t+1}^o = \max \{R_{e,t}^o - e, 0\} \text{ et } S_{e,t}^o = R_{e,t}^o - R_{e,t+1}^o$$

L'offre de pétrole de l'Opep est déterminée par la différence entre les réserves actuelles et les réserves que le cartel décide de conserver pour l'avenir. Plus l'Opep choisit d'extraire aujourd'hui, moins il restera de pétrole dans ses réserves futures, plus l'offre à venir sera faible. Dans le cas extrême où elle extrait la totalité de ses réserves, les réserves futures deviennent nulles.

Extraction compétitive

Une séquence de prix $(p_t)_{t \in \{1, \dots, 100\}}$ et un taux d'extraction e forment un équilibre compétitif si, à chaque période t , on a :

$$S_{e,t}^o + S^c(p_t) = D(p_t)$$

et étant donné $(p_t)_{t \in \{1, \dots, 100\}}$, e , le taux d'extraction est choisi en maximisant les profits cumulés sur un siècle. Ces profits tiennent compte du taux d'actualisation, des quantités offertes et de la marge des producteurs :

$$\max_{e \geq 0} \sum_{t=1}^{100} \delta^t S_{e,t}^o (p_t - c)$$

Extraction oligopolistique à la Stackelberg

Le marché du pétrole n'est pas compétitif. Il peut être représenté par un modèle de concurrence dit « à la Stackelberg ». Dans ce cadre, un leader, ici l'Opep, fixe ses volumes d'extraction en anticipant la réaction des producteurs de la frange concurrentielle. Cette position de leader permet à l'Opep d'influencer la quantité totale de pétrole mise sur le marché, et donc d'avoir un impact sur le niveau des prix. Les prix $p_{e,t}$ sont tels que :

$$S_{e,t}^o + S^c(p_{e,t}) = D(p_{e,t})$$

L'Opep choisit e pour maximiser la valeur actuelle nette de ses profits, anticipant l'impact du niveau d'extraction e sur les prix :

$$\max_{e \geq 0} \sum_{t=1}^{100} \delta^t S_{e,t}^o (p_{e,t} - c)$$

Statique comparative

Nous comparons l'impact d'une réduction de la demande de D à D_R en extraction compétitive et en extraction « à la Stackelberg ». Le **tableau 2** résume l'impact de la réduction de la demande sur l'offre cumulée au cours des 50 prochaines années. Alors que les effets directs (à prix constants) sont similaires et proches de 5 % dans les deux cas, les effets rebonds associés à la variation des prix diffèrent. L'effet de rebond est égal à 3 points de pourcentage en extraction compétitive, mais seulement à 0,8 point en extraction à la Stackelberg. Cela implique qu'une réduction de 50 % de la demande de l'UE – soit environ une réduction de 5,5 % de la demande mondiale à prix constants – ne se traduit que par une réduction de 1,8 % de l'offre mondiale en extraction compétitive, mais par une réduction de 4,7 % de l'offre mondiale en extraction à la Stackelberg.

Tableau 2. Réduction en pourcentage de l'offre cumulée après 50 ans à la suite d'une réduction de 50 % de la demande de l'UE – extraction compétitive vs extraction oligopolistique:

	Effet direct	Effet rebond	Effet net
Extraction compétitive	-4,9 %	+3pp	-1,8 %
Extraction oligopolistique	-5,5 %	+0,8pp	-4,7%

Fuites de carbone via le marché de l'occasion

Chaque année en France, entre 5 et 6 millions de véhicules sont échangés sur le marché de l'occasion et un peu plus de 1 million de véhicules sont mis hors d'usage et recyclés. Cela signifie que lorsqu'un ménage remplace un véhicule thermique, dans 80 % des cas, celui-ci est revendu sur le marché de l'occasion, plutôt que d'être mis à la casse. Comment ce véhicule d'occasion affecte-t-il la flotte totale disponible? Remplace-t-il une voiture d'occasion encore plus polluante? Décourage-t-il l'achat d'un véhicule neuf? Ces questions sont essentielles pour évaluer le bilan carbone réel du remplacement anticipé d'un véhicule thermique.

Illustration: le cas de l'Alena

[Davis and Kahn \(2010\)](#) ont étudié l'impact de l'ouverture du marché de l'occasion entre les États-Unis et le Mexique à la suite de l'Accord de libre-échange nord-américain Alena (en anglais NAFTA) pour comprendre comment un afflux de voitures d'occasion modifie la demande de voitures neuves et d'occasion. De 2005 à 2008, 2,5 millions de voitures d'occasion supplémentaires ont été exportées des États-Unis vers le Mexique. Cela correspond à environ 10 % du parc automobile mexicain, un chiffre comparable au nombre de voitures neuves achetées chaque année. Leur analyse montre que l'afflux de ces véhicules d'occasion a eu peu d'effet sur les ventes de voitures neuves: les véhicules importés, âgés de 10 à 15 ans, ne constituaient pas une alternative intéressante pour la majorité des acheteurs de neuf. De même, l'impact sur les mises à la casse est resté très limité, en raison du coût élevé des voitures d'occasion importées au Mexique. Elles ont donc poursuivi leur durée de vie complète, engendrant des émissions supplémentaires puisque se surajoutant au parc existant. Selon [Başkin et al. \(2020\)](#), le moindre encadrement réglementaire et les coûts d'entretien plus faibles au Mexique pourraient même avoir accru leur usage.

Évaluation quantitative

Pour évaluer l'impact de la mise sur le marché d'une voiture d'occasion supplémentaire $\Delta U = 1$, il est nécessaire d'évaluer deux paramètres: l'effet sur la mise à la casse ΔS (S représente le nombre de véhicules mis hors d'usage ou « scrappage » en anglais) et le changement induit sur la demande de voitures neuves ΔN .

Notre enquête auprès des ménages ([Chassang 2025b](#)) montre que l'élasticité-prix de la demande de voitures d'occasion, $\varepsilon_{U,P_U} \equiv (\Delta U / (\Delta P_U)) (P_U / U)$, se situe entre -0,4 et -0,7. Ce chiffre est cohérent avec les estimations de l'élasticité-prix de la demande de voitures neuves de [Leard \(2022\)](#) (-0,35): la demande de voitures d'occasion est probablement plus élastique que la demande de voitures neuves.

Aux États-Unis, [Jacobsen and Van Benthem \(2015\)](#) estime l'élasticité de la mise à la casse par rapport au prix des voitures d'occasion, ε_{S,P_U} , à environ -0,7. Ces deux élasticité peuvent être combinées pour évaluer l'impact d'une voiture d'occasion supplémentaire sur la mise à la casse :

$$\varepsilon_{S,P_U} \equiv \frac{\Delta S}{\Delta P_U} \frac{P_U}{S}$$

$$\Rightarrow \Delta S = S \frac{\Delta P_U}{P_U} \varepsilon_{S,P_U} = \Delta U \frac{S}{U} \frac{\varepsilon_{S,P_U}}{\varepsilon_{U,P_U}}$$

En fixant ε_{S,P_U} à -0,7, ε_{U,P_U} à -0,5, U à 5 millions, et S à 1 million, on obtient $\Delta S = 0,28\Delta U$. Ainsi, pour 4 voitures supplémentaires mises sur le marché de l'occasion, un peu plus d'une voiture supplémentaire est mise à la casse. Bien que les voitures qui auraient été mises à la casse soient plus anciennes que les voitures d'occasion supplémentaires et qu'elles aient donc une espérance de vie plus courte, elles émettent probablement davantage par kilomètre. Dans l'ensemble, l'hypothèse que les émissions cumulées d'une voiture d'occasion supplémentaire et d'une voiture qui aurait été mise à la casse sont les mêmes semble raisonnablement conservatrice. Cela implique qu'une voiture d'occasion supplémentaire sur le marché réduit approximativement de 30 % ses émissions en augmentant la mise à la casse.

Pour quantifier l'impact ΔN sur la demande de voitures neuves, nous avons besoin d'estimer l'élasticité de la demande de véhicules neufs au prix des véhicules usagés. Notre enquête auprès des ménages fixe l'élasticité de la demande de voitures neuves aux prix des voitures d'occasion entre 0 et 0,2.

Une stratégie d'estimation alternative conduit à un chiffre similaire. Nous reprenons [Leard \(2022\)](#), qui estime que l'élasticité-prix des voitures neuves est d'environ -0,35. Ce chiffre peut être utilisé avec une hypothèse de taux de détournement et une approximation de symétrie de Slutsky pour évaluer l'élasticité de la demande de voitures neuves par rapport aux prix des voitures d'occasion. Une utilisation approximative de la symétrie de Slutsky implique que la quantité qui nous intéresse $\Delta^x N / \Delta P_U$ peut être réexprimée de la façon suivante⁸ :

$$\frac{\Delta^x N}{\Delta P_U} \simeq \frac{\Delta^x U}{\Delta P_N}$$

Nous supposons un taux de détournement des voitures d'occasion vers les voitures neuves égal à 1⁹. Cela implique :

$$\frac{\Delta^x N}{\Delta P_U} \simeq \frac{\Delta^0 N}{\Delta P_N}$$

Il en résulte que :

$$\varepsilon_{N,P_U} = \frac{\Delta^x N}{\Delta P_U} \frac{P_U}{N} \simeq - \frac{\Delta^0 N}{\Delta P_N} \frac{P_N}{N} \frac{P_U}{N} = \varepsilon_{N,P_N} \frac{P_U}{P_N}$$

En supposant que le prix d'une voiture d'occasion (en moyenne âgée de 8 ans) corresponde à la moitié du prix d'une voiture neuve, nous obtenons que l'élasticité-prix croisée des voitures neuves par rapport aux voitures d'occasion est de 0,17. Nous avons :

$$\Delta N = \Delta U \frac{N}{U} \frac{\varepsilon_{N,P_U}}{\varepsilon_{U,P_U}}$$

En utilisant $N = 1,5 M$, $U = 5 M$, $\varepsilon_{N,P_U} = 0,2$, et $\varepsilon_{U,P_U} = -0,5$, on obtient $\Delta N = -0,1\Delta U$. Encore une fois, bien que les voitures neuves soient probablement moins émettrices qu'une voiture d'occasion moyenne, elles ont également des durées de vie plus longues. On peut donc supposer que leurs émissions totales restantes sont similaires. En conséquence, l'impact d'une voiture d'occasion moyenne supplémentaire sur l'achat de voitures neuves réduit ses émissions futures cumulées d'environ 10 %.

Au total, si l'on considère qu'environ 30 % des émissions sont évitées grâce à la mise à la casse de véhicules plus anciens, et 10 % grâce au report d'achat d'un véhicule neuf, on en déduit qu'un véhicule d'occasion supplémentaire sur le marché continue d'émettre, en moyenne, 60 % de ses émissions restantes.

⁸ Les exposants x et 0 représentent les dérivées croisées et directes de la demande de véhicules neufs et d'occasion aux prix des véhicules neufs et d'occasion.

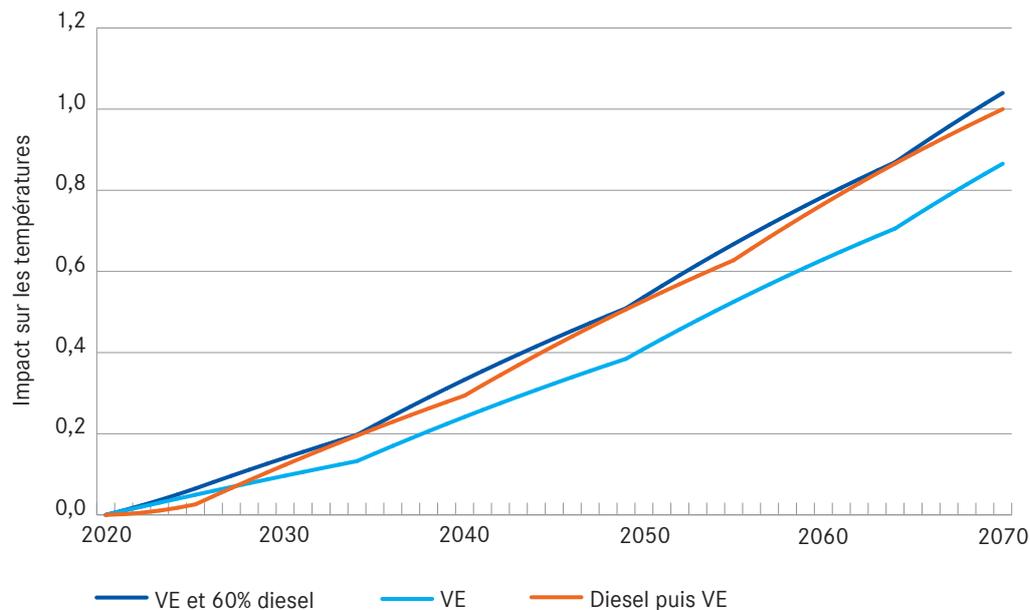
⁹ Les consommateurs qui n'achètent pas de véhicule neuf parce que le prix de l'occasion diminue achètent un véhicule d'occasion.

L'impact des remplacements anticipés

[Geffray \(2023\)](#) propose une analyse des réductions d'émissions associées au remplacement anticipé d'un véhicule d'occasion par un véhicule électrique. Bien que les véhicules électriques émettent plus de GES lors de leur fabrication, la réduction des émissions sur leur durée de vie compense largement ces émissions initiales. Cependant, l'analyse suppose que la voiture d'occasion remplacée ne génère plus d'émissions.

La **Figure 5** revisite ces résultats. Elle reproduit deux scénarios clés de [Geffray \(2023\)](#) et en ajoute un troisième :

Figure 5. Impact du renouvellement anticipé selon différents scénarios :



1. un propriétaire de voiture diesel utilise la voiture pendant ses années de vie restantes (4) puis achète un VE ;
2. un propriétaire de voiture diesel remplace immédiatement sa voiture d'occasion par un VE ; la voiture diesel d'occasion n'émet plus ;
3. un propriétaire de voiture diesel remplace immédiatement sa voiture d'occasion par un VE ; la voiture diesel d'occasion émet 60 % de ses émissions potentielles restantes.

Les augmentations de température dans le scénario 1 (diesel puis VE) sont établies comme référence. Le scénario 2 (changement immédiat vers un VE sans émissions supplémentaires du diesel) réduit significativement les augmentations de température par rapport au scénario 1). Cependant, cela n'est plus vrai dans le scénario 3 (changement immédiat vers un VE mais la voiture diesel d'occasion continue d'émettre 60 % de ses émissions restantes).

Cela implique qu'à moins d'interdire la revente de véhicules thermiques d'occasion, leur remplacement anticipé n'a pas d'effet positif sur le climat. Selon les modèles de la première partie, les réductions d'émissions $N_t \times \bar{K}_t \times \Delta \bar{X}_t \times \bar{iM}_t$ associées à une amélioration de la composition du parc sont compensées par l'impact de l'expansion du parc $\Delta N_t \times \bar{K}_t \times \bar{X}_t \times \bar{iM}_t$.

Conclusion

Pour être véritablement efficaces, les politiques publiques de soutien à l'adoption des véhicules électriques doivent intégrer plusieurs dimensions essentielles : l'impact différé des émissions de gaz à effet de serre, les effets de rebond sur le marché pétrolier, ainsi que les possibles fuites de carbone sur le marché de l'occasion.

Les externalités du marché automobile

Ce *Focus* montre d'abord l'importance du calendrier des émissions. Un gaz à effet de serre émis aujourd'hui a un impact plus important sur les températures futures que le même gaz émis plus tard. Cela plaide en faveur de mesures qui permettent une réduction immédiate des émissions, plutôt que des transitions longues.

Concernant le marché pétrolier, la structure actuelle du secteur réduit le risque d'un effet rebond massif. La présence d'un cartel (l'Opep) face à une frange concurrentielle de producteurs implique qu'à moyen terme, le prix du pétrole est peu sensible à de faibles variations de la demande européenne. En d'autres termes, une baisse de la consommation en Europe ne devrait pas se traduire par une forte baisse des prix mondiaux susceptible de relancer la consommation ailleurs.

Enfin, le marché de l'occasion constitue un canal de fuite de carbone important. Le remplacement anticipé d'un véhicule thermique par un véhicule électrique n'est bénéfique que s'il s'accompagne du retrait de la circulation du véhicule thermique. Dans le cas contraire, l'effet climatique positif peut être neutralisé.

Bibliographie

Asker J., Collard-Wexler A., De Canniere C., De Loecker J. et Knittel C.R. (2024) : « Two Wrongs Can Sometimes Make a Right: The Environmental Benefits of Market Power in Oil », National Bureau of Economic Research.

Asker J., Collard-Wexler A. et De Loecker J. (2019) : « (Mis) Allocation, Market Power, and Global Oil Extraction », *American Economic Review* 109 (4), p. 1568–1615.

Baskin A., de Jong R., Dumitrescu E., Akumu J., Ruiz Stannah V., Mwangi A., Diabate F., Quirama L.F. et Maina G. (2020) : « Used Vehicles and the Environment », United Nations Environment Programme.

Bilal A. et Känzig D.R. (2024) : « The Macroeconomic Impact of Climate Change : Global Vs. Local Temperature », National Bureau of Economic Research.

Borenstein S. et Kellogg R. (2023) : « Carbon Pricing, Clean Electricity Standards, and Clean Electricity Subsidies on the Path to Zero Émissions », *Environmental and Energy Policy and the Economy* 4 (1), p. 125–76.

Buchanan J.M. (1969) : « External Diseconomies, Corrective Taxes, and Market Structure », *The American Economic Review* 59 (1) : 174–77.

Chassang S. (2025a) : « [Voiture électrique : ne pas rater l'occasion](#) », *Les Notes du CAE* n° 85, juillet.

Chassang S. (2025b) : « [La demande automobile des ménages et des entreprises](#) », *Focus du CAE* n° 116, juillet.

Coglianese J., Davis L.W., Kilian L. et Stock J.H. (2017) : « Anticipation, Tax Avoidance, and the Price Elasticity of Gasoline Demand », *Journal of Applied Econometrics* 32 (1) : 1–15.

Davis L.W. et Kahn M.E. (2010) : « International Trade in Used Vehicles : The Environmental Consequences of Nafta », *American Economic Journal: Economic Policy* 2 (4), p. 58–82.

EPA (2023) : « Report on the Social Cost of Greenhouse Gases: Estimates Incorporating Recent Scientific Advances », US Environmental Protection Agency Washington, DC.

Fressoz J.-B. (2024) : *Sans transition : une nouvelle histoire de l'énergie*, Seuil.

Geffray L.-P. (2023) : « Policies for Early Conversion of the Thermal Vehicle Fleet to Electric Vehicles : Climate Impacts », *Issue Brief* n° 3, mai.

Jacobsen M.R. et Van Benthem A.A (2015) : « Vehicle Scrappage and Gasoline Policy », *American Economic Review* 105 (3), p. 1312–1338.

Kellogg R. (2024) : « The End of Oil », National Bureau of Economic Research.

Knittel C.R. et Tanaka S. (2019) : « Driving Behavior and the Price of Gasoline: Evidence from Fueling-Level Micro Data », National Bureau of Economic Research.

Leard B. (2022) : « Estimating Consumer Substitution Between New and Used Passenger Vehicles », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 9 (1), p. 27–49.

Levin L., Lewis M.S. et Wolak F.A. (2017) : « High Frequency Evidence on the Demand for Gasoline », *American Economic Journal: Economic Policy* 9 (3), p. 314–347.

Nordhaus W. (2014) : « Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 1 (1/2), p. 273–312.

Nordhaus W. (1991) : « To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect », *The Economic Journal* 101 (407), p. 920–937.

Les externalités du marché automobile

Nordhaus W. (1993): « Optimal Greenhouse-Gas Reductions and Tax Policy in the "Dice" Model », *The American Economic Review* 83 (2), p. 313-317.

Nordhaus W. (2017): « Revisiting the Social Cost of Carbon », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (7), p. 1518-1523.

Sinn H.W. (2008): « Public Policies Against Global Warming: A Supply Side Approach », *International Tax and Public Finance* 15, p. 360-394.



**conseil d'analyse
économique**

Le Conseil d'analyse économique, créé auprès du Premier ministre, a pour mission d'éclairer, par la confrontation des points de vue et des analyses de ses membres, les choix du gouvernement en matière économique.

Président délégué Xavier Jaravel

Secrétaire générale Hélène Paris

Conseillers scientifiques

Jean Beuve, Claudine Desrieux, Arthur Poirier

Économistes/Chargés d'études

Nicolas Grimprel, Lucie Huang, Alice Lapeyre,
Emma Laveissière, Antoine Lopes

Membres Adrien Auclert, Emmanuelle Auriol,
Antoine Bozio, Sylvain Chassang, Anne Epaulard,
Gabrielle Fack, François Fontaine, Julien Grenet,
Maria Guadalupe, Fanny Henriot, Xavier Jaravel,
Sébastien Jean, Camille Landais, Isabelle Méjean,
Thomas Philippon, Xavier Ragot, Alexandra Roulet,
Katheline Schubert, Jean Tirole

Correspondants

Dominique Bureau, Anne Perrot, Aurélien Saussay,
Ludovic Subran

Toutes les publications du Conseil d'analyse
économique sont téléchargeables sur son site :
www.cae-eco.fr

ISSN 2971-3560 (imprimé)
ISSN 2999-2524 (en ligne)

Contact Presse Hélène Spoladore
helene.spoladore@cae-eco.fr – Tél. : 01 42 75 77 47