



Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

RAPPORT FINAL

Janvier 2025

Synthèse

La Direction générale du Trésor a entrepris une étude sur les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone. Inspirée par la [Net Zero Review](#) conduite par le Trésor britannique, cette étude analyse les grands enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone pour l'économie française, en croisant les dimensions macroéconomique et sectorielle, et en intégrant les enjeux pour les entreprises, le marché du travail, le commerce extérieur, les ménages et les finances publiques. Elle s'appuie sur les travaux de planification écologique, la littérature économique et l'analyse des données disponibles, et recourt aux comparaisons internationales afin d'identifier les bonnes pratiques à l'étranger, mais aussi les écueils à éviter. Ce document a été élaboré sous la responsabilité de la Direction générale du Trésor et ne reflète pas nécessairement la position du ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.

La transition vers la neutralité carbone constitue un défi économique, mais maîtrisable. La France a déjà amorcé un processus de découplage, parvenant à réduire ses émissions de gaz à effet de serre tout en préservant sa croissance économique. Ce rapport vise à mieux comprendre les opportunités et les risques associés à la poursuite de ces efforts. La transition bas-carbone représente un coût macroéconomique modéré et transitoire, et celui-ci reste très inférieur à celui de l'inaction climatique. Ses effets sur les finances publiques, les ménages et les entreprises paraissent maîtrisables grâce à des politiques adaptées. Les efforts de transformation du système énergétique, productif et alimentaire, pourront aussi renforcer de nombreuses dimensions de la souveraineté.

Une évolution non maîtrisée du changement climatique aurait des conséquences négatives importantes pour l'économie, ce qui justifie des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ambitieux.

- En l'absence de renforcement des efforts mondiaux de décarbonation, le réchauffement climatique pourrait atteindre en moyenne +3°C dans le monde et +4°C en France hexagonale d'ici la fin du siècle par rapport à l'ère préindustrielle selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ce qui aurait des implications environnementales, sociales et économiques.
- Le réchauffement moyen des températures a atteint +1,2°C au niveau mondial sur la période 2014-2023 par rapport à l'ère préindustrielle, entraînant d'ores et déjà des dommages importants. Cette moyenne mondiale cache des différences territoriales : le réchauffement en France hexagonale était ainsi de +2,1°C sur la même période.
- Les dernières estimations du Réseau pour le verdissement du système financier (en anglais *Network for Greening the Financial System* ou NGFS) sont que les effets chroniques du changement climatique induit par les politiques climatiques actuelles (conduisant à un réchauffement de +3°C en 2100 dans le monde) auront un effet négatif sur le PIB de l'ordre de 15 points dans le monde en 2050 ; et plus encore en 2100 (30 points), par rapport à un scénario sans changement climatique. Le réchauffement aura aussi des effets négatifs sur la santé humaine et réduira les services rendus par les écosystèmes (par exemple la pollinisation ou la captation du carbone par les terres et les forêts).
- Dans le but de limiter le réchauffement mondial à +1,5°C, la France s'est fixé un objectif ambitieux de réduction de ses émissions brutes de gaz à effet de serre : -50 % en 2030 relativement à 1990, objectif décliné par secteur dans le projet de stratégie nationale bas-carbone n°3 (SNBC 3) publié dans le cadre de la concertation conduite en novembre 2024. Cet objectif est une étape vers la neutralité carbone, qui doit être atteinte en 2050.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- La transition bas-carbone s'inscrit par ailleurs dans une transition écologique plus large visant à limiter l'empreinte de l'activité sur l'environnement.

La transition vers la neutralité carbone implique, en France, en Europe, comme ailleurs dans le monde, un renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre (GES) – via la fiscalité, les subventions, ou la réglementation –, visant à déclencher les investissements supplémentaires nécessaires à la décarbonation et à réduire les investissements dans les activités émissives. Cela permettra, dans le cas de la France et de l'Europe, d'améliorer la sécurité d'approvisionnement énergétique et l'autonomie stratégique.

- À court et moyen terme, la transition pourrait entraîner un ralentissement de la croissance économique, du fait de la hausse des coûts qu'elle implique. La disponibilité d'énergie bas-carbone à des prix compétitifs et un environnement favorable à l'innovation verte modèreraient ce coût et favoriseraient le développement des activités bas-carbone, dans la continuité des baisses de coûts récentes des produits bas-carbone (énergies renouvelables, batteries, notamment) observés.
- À titre illustratif, une évaluation des effets de la transition vers la neutralité carbone sur l'économie française, transitant par deux principaux canaux, (i) le renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre et (ii) les investissements supplémentaires pour la décarbonation, dans le cadre d'une transition ordonnée, a été réalisée à partir de la deuxième version de la stratégie nationale bas carbone (SNBC 2), correspondant à une trajectoire de baisse des émissions moins ambitieuse que la SNBC 3.
 - Le premier canal, le renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre, réduirait le niveau d'activité de 0,9 point de PIB en 2030 par rapport à un scénario sans mesures de décarbonation supplémentaires. Dans le cas hypothétique où ce renchérissement s'appuierait en partie sur de la tarification, l'utilisation des recettes ainsi générées pour des mesures favorables à l'activité permettrait de limiter l'impact négatif de ce canal.
 - Les investissements supplémentaires pour la décarbonation nets des désinvestissements émissifs, effectués par les ménages, les entreprises et les administrations publiques, tels que prévus par la SNBC 2, soutiendraient par ailleurs le niveau d'activité à hauteur de 1 point de PIB en 2030. Toutefois, leur financement via la baisse d'autres postes de dépenses et le surcoût que ces investissements représentent pour les entreprises par rapport aux technologies alternatives existantes pourraient amoindrir cet effet positif de 0,6 point de PIB, aboutissant à un effet net des investissements de 0,4 point de PIB à horizon 2030.
- En tenant compte des interconnexions entre économies, les effets économiques de la transition dépendent de l'action climatique de nos partenaires, des outils mobilisés par ceux-ci pour l'atteindre et de la manière dont ils utilisent d'éventuelles recettes de la fiscalité sur les produits carbonés. Une transition à l'échelle mondiale, sans redistribution des recettes, commencerait par ralentir l'activité dans le monde et par suite en France via la baisse de la demande adressée aux entreprises domestiques. Cet effet serait largement limité dans le cas d'une transition avec redistribution aux ménages des recettes de la fiscalité sur les produits carbonés dans chaque pays.
- Les politiques d'atténuation du changement climatique induisent des bénéfices à moyen et long terme, en premier lieu au regard des effets délétères évités, mais aussi par les gains de productivité des technologies bas-carbone, les moindres importations de combustibles fossiles, et par l'amélioration possible de plusieurs dimensions du bien-être, notamment la santé (dits co-bénéfices).
- De plus, la transition permettra d'améliorer plusieurs dimensions de la sécurité d'approvisionnement et de souveraineté énergétique : en France, les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

commerciale (les importations de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix, déterminés sur les marchés mondiaux.

Le prix du carbone est un outil puissant économiquement pour permettre la décarbonation des activités, mais il doit être complété par des mesures complémentaires pour maximiser son efficience et maîtriser ses effets distributifs entre les ménages.

- Pour décarboner l'économie française, la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) s'appuie sur plusieurs leviers : la décarbonation des vecteurs énergétiques ; l'efficacité et la sobriété énergétique des usages ; l'efficacité « carbone » des procédés industriels et agricoles ; les changements de modes de consommation ; la séquestration de carbone via le puits de carbone naturel ou des procédés industriels.
- La littérature économique montre que donner un prix au carbone (via la fiscalité ou des systèmes de quotas d'émission échangeables) permet de déclencher les actions de décarbonation les plus coût-efficaces, et encourage l'innovation bas-carbone par les entreprises, cruciale pour la productivité future.
- Des défaillances de marché (e.g. dans l'innovation), et les effets distributifs de la tarification carbone, invitent à la compléter par d'autres instruments de politiques publiques, notamment par des subventions ciblées et des réglementations proportionnées, dont les effets doivent être évalués au cas par cas.
- Les émissions de gaz à effet de serre sont déjà tarifées en France à un niveau bien supérieur à la moyenne mondiale par des taxes nationales et le système d'échange de quotas d'émissions européen, mais la tarification est inégale entre secteurs et son niveau insuffisant pour atteindre les objectifs 2030 et la neutralité carbone en 2050. En France, en 2023, 71 % des émissions de gaz à effet de serre sont couvertes par une tarification effective (nette des subventions aux énergies fossiles), à un niveau moyen agrégé de 91 €/tCO₂éq. Dans le monde, selon l'OCDE, en 2021, 41 % des émissions sont couvertes, et la tarification effective nette moyenne est de 17 €/tCO₂éq. Cette tarification effective inclut à la fois une tarification visant explicitement le carbone, et une tarification indirecte proportionnelle aux émissions de GES (par exemple, l'accise sur les énergies), qui peut avoir vocation à couvrir des externalités climatiques.

La transition vers la neutralité carbone doit être pensée dans un contexte mondial, où le commerce international est source de risques mais aussi d'opportunités en cas de coopération renforcée entre les pays.

- Les émissions de GES constituent une externalité négative mondiale, ce qui appelle une réponse coordonnée au niveau international, qui se concrétise avec l'Accord de Paris. Ce dernier laisse chaque pays libre de déterminer sa contribution aux réductions d'émissions mais devrait permettre une dynamique d'émulation en fixant un objectif de limitation du réchauffement climatique nettement sous 2°C, et si possible à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et en créant un système de suivi des efforts collectifs.
- En plus de son propre effort climatique, la France est mobilisée pour que les cibles et actions de réduction d'émissions de tous les pays soient les plus ambitieuses possibles. Dans cette perspective, la France fournit notamment des financements permettant aux pays en développement de se décarboner et s'adapter aux effets du changement climatique. Ses financements ont participé à l'atteinte depuis 2022 de l'objectif collectif de 100 Md\$ par an de finance climat fournie par les pays développés aux pays en développement.
- L'intégration commerciale et financière entre économies a des répercussions plurielles sur les efforts de décarbonation. D'une part, le commerce international peut faciliter l'accès aux biens et technologies bas-carbone à travers le monde, réduisant ainsi les coûts

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

de la transition. D'autre part, le commerce international contribue directement aux émissions de gaz à effet de serre, notamment car il accroît la production et le transport de biens échangés. En outre, les écarts d'ambition des politiques climatiques peuvent générer un risque de fuites de carbone, prenant notamment la forme d'une substitution de la production locale par des importations.

- En l'absence d'un prix du carbone mondial, des prix différenciés par pays ou zones géographiques, notamment couplés avec des mécanismes d'ajustement carbone aux frontières (MACF), sont des instruments de politique climatique pertinents.
- L'absence de coordination et de coopération internationale, notamment en matière commerciale, serait préjudiciable à une transition ordonnée et à son acceptabilité. En effet, les pratiques de *dumping* ou les subventions ayant des effets de distorsion de certains exportateurs de biens essentiels à la transition font peser un risque sérieux sur l'industrie européenne et les emplois qui en découlent, même si elles permettent également de financer à coût réduit la transition. Face à cette menace, il est nécessaire de défendre une bonne application des règles du commerce international aux biens et services environnementaux, en luttant contre les mesures protectionnistes et en rétablissant des conditions de concurrence équitable (avec des mesures de défense commerciale notamment) chaque fois que pertinent.

La transition implique d'importants investissements, dont le financement devra être partagé entre secteurs public et privé. Conduire la transition avec un mix diversifié d'instruments de politique climatique (tarification du carbone, subventions, réglementations) aurait un impact limité sur le ratio d'endettement public par rapport à son évolution tendancielle et permettrait au secteur privé de prendre sa part dans le financement de la transition.

- La décarbonation nécessitera d'importants investissements privés et publics qui pourraient, selon un document de travail de la DG Trésor (2024), s'élever en France à environ 110 Md€ par an en 2030 (en brut et en supplémentaire par rapport à 2021), et dépendront au-delà de cet horizon de l'évolution des technologies. Ces investissements permettront des économies d'énergie qui contribueront à en réduire le coût net. En parallèle, les investissements défavorables au climat pourraient se réduire : la montée en charge des véhicules électriques et des efforts de sobriété permettrait par exemple de réduire les investissements bruns dans les véhicules thermiques d'environ 37 Md€ par an en 2030.
- La stratégie pluriannuelle de financement de la transition écologique (SPAFTE), présentée par le Gouvernement pour la première fois en 2024, décrit les financements dédiés à la transition écologique et à la politique énergétique en France par tous les acteurs.
- La répartition des financements des investissements bas-carbone entre acteurs économiques dépendra des politiques publiques mobilisées.
- Les politiques de transition mises en œuvre pour limiter le changement climatique auront un effet direct sur le solde public (par exemple, recettes de tarification carbone supplémentaires et/ou dépenses supplémentaires de décarbonation), ainsi que des effets indirects sur l'économie (via le PIB, les taux d'intérêt, l'inflation) pouvant se répercuter sur les comptes publics. Ces effets seraient fortement différenciés selon le choix des instruments de décarbonation (subvention, réglementation ou tarification carbone). Le coût des risques physiques – selon la manière dont il sera partagé avec les acteurs privés – et celui des politiques d'adaptation mises en œuvre pour les réduire pèseront également sur les finances publiques de façon directe ou indirecte.
- De plus, la sortie progressive des énergies fossiles, largement importées, implique une baisse des recettes d'accise sur ces énergies, à fiscalité inchangée. Un scénario compatible avec nos objectifs climatiques éroderait les recettes d'accise sur les énergies (ex-TICPE,

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

ex-TICGN et ex-TICFE) de 10 Md€ à horizon 2030 et de 30 Md€ à horizon 2050, relativement à 2019. Cette érosion des recettes concerne en premier lieu le secteur routier, du fait de l'électrification des véhicules, l'électricité étant moins taxée que les carburants routiers fossiles par unité d'énergie utile consommée.

- Une transition menée avec une combinaison d'instruments diversifiée, mobilisant la tarification du carbone, pourrait avoir un effet limité sur l'endettement, en dépit de l'érosion des recettes de l'accise sur les énergies.
- La mobilisation de la finance privée est essentielle à la réussite de la transition vers la neutralité carbone et au financement des besoins d'investissement pour la décarbonation. Or la prise en compte des risques de transition par le secteur financier paraît encore imparfaite et limitée. D'une part, une meilleure tarification de l'externalité climatique contribuerait à limiter la rentabilité des activités brunes et soutenir la rentabilité privée relative des activités bas-carbone, et donc leur financement. D'autre part, le cadre européen et français de la finance durable, le rapportage extra-financier des entreprises non financières, ainsi que les réglementations des activités financières, en particulier bancaires et assurantielles, visent à améliorer l'information et la transparence, ainsi que la confiance des investisseurs dans les actifs durables et en transition.

La transition bas-carbone aura des effets différenciés sur les ménages, et donnera lieu à des réallocations d'emplois, avec moins d'emplois bruns et davantage d'emplois verts, ce qui nécessite des politiques d'accompagnement.

- L'impact de la transition bas-carbone sur les ménages français dépend notamment de leur empreinte carbone et de la possession de « capital brun » (voiture émissive, logement chauffé aux énergies fossiles ou peu efficace énergétiquement, dit « passoire thermique »). En outre, la part des dépenses énergétiques étant en moyenne plus importante chez les ménages modestes et les ménages ruraux, ceux-ci sont davantage exposés à un renchérissement du prix du carbone.
- Les effets de la transition bas-carbone dépendent de manière cruciale des politiques publiques qui sont mobilisées pour mettre en œuvre la transition, et pour accompagner les ménages et les entreprises. La France a notamment mis en place des dispositifs pour réduire le surcoût lié aux investissements bas-carbone, en particulier pour les ménages à revenus intermédiaires et les ménages modestes (e.g. MaPrimeRénov', leasing). De plus, la loi industrie verte, promulguée le 23 octobre 2023, doit permettre d'accélérer la mobilisation de financements privés au service de la transition.
- Identifier finement les emplois moteurs ou à risque de la transition écologique nécessite de croiser les approches par activité et profession. La classification illustrative retenue dans ce rapport classe les emplois selon deux critères : (i) les biens et services produits par l'entreprise (activité verte, neutre ou brune, selon son effet direct et indirect sur la transition) et (ii) la profession exercée.
- Les activités exposées à la transition, car liées à des biens et services dont la production ou l'usage est très émissif (e.g., industrie intensive en émissions, automobile, transport aérien, élevage), représentaient 8 % de l'emploi salarié en 2021 et seront amenées à évoluer pour réduire leur empreinte environnementale. Parmi elles, les professions les plus exposées (e.g., certaines professions de la filière moteur dans l'industrie et la maintenance automobile) ne représentent que 3 % de l'emploi total, mais sont parfois géographiquement concentrées. Il importe de s'assurer que les politiques d'emploi et de formation anticipent ces transformations.
- L'attractivité des emplois verts (e.g. artisans dans la rénovation énergétique), qui représentaient 12 % de l'emploi en 2021, est une condition à la réussite de la transition. La demande en emplois verts augmente rapidement (300 000 emplois créés entre 2016 et

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

2021, à un rythme deux fois plus rapide que le reste de l'économie), mais fait face à de fortes tensions de recrutement. Dans le même temps, dans différents pays dont la France, les activités vertes rémunéraient mieux que les autres (à qualification et autres facteurs égaux) au début des années 2010, mais cette « prime » est en diminution depuis. La faible attractivité de certains emplois verts pourrait ainsi s'expliquer par la trop faible rétribution financière de facteurs de pénibilité du travail ou du besoin, à profession égale, de compétences plus poussées. Les politiques climatiques pourraient accroître la rentabilité relative des activités vertes, et ainsi améliorer l'attractivité de ces emplois. Les frictions sur le marché du travail sont susceptibles de freiner la transition et d'en accroître les coûts socio-économiques.

Les progrès et défis en matière de décarbonation diffèrent d'un secteur économique à l'autre :

- L'intensité carbone de **l'industrie française** a fortement baissé, grâce à des gains d'efficacité carbone, et la tendance devrait se poursuivre grâce au marché carbone européen, associé au MACF pour limiter en partie les fuites de carbone. L'industrie française se positionne actuellement parmi les moins carbonées à l'échelle mondiale, notamment grâce à l'électricité décarbonée. La poursuite de sa décarbonation contribuera à améliorer sa sécurité d'approvisionnement. Les exportations françaises sont moins exposées au risque de transition que celles d'autres pays, en particulier les exportateurs d'hydrocarbures. La loi industrie verte doit contribuer à faire de la France le leader de l'industrie verte en Europe. L'innovation bas-carbone, qui mobilise largement l'industrie, est un facteur clé pour la réussite économique de la transition et nécessite un soutien public particulier, à l'image de France 2030 et du fonds pour l'innovation européen. Les dépôts de brevets dans les technologies propres et durables n'ont jamais été aussi élevés dans le monde, en Europe et en France. Dans un contexte de concurrence intense, l'Europe est à la pointe du développement des technologies bas-carbone, selon une mesure de la densité de brevets déposés dans des technologies clés.
- Faiblement intense en carbone, et déjà à 95 % bas-carbone en 2024, la **production d'électricité française** doit fortement croître afin de permettre la décarbonation des autres secteurs via l'électrification, alors même qu'une large partie du parc productif actuel sera déclassée à horizon 2050. Assurer la production d'énergie bas-carbone (notamment énergies renouvelables et nucléaire) à moindres coûts nécessitera de surmonter des défis sociaux et industriels, spécifiques à chaque technologie. La fiscalité et la réglementation sur les prix des énergies joueront un rôle crucial pour inciter à l'électrification, dans un contexte de coûts de production de l'électricité plus élevés qu'auparavant. La maîtrise de la demande (efficacité énergétique, sobriété) et sa flexibilisation (tarification dynamique, solutions technologiques) limiteraient les coûts de la transition pour le système électrique. Par ailleurs, l'électrification des usages s'accompagne dans de nombreux secteurs de gains d'efficacité énergétique importants.
- La tarification carbone effective du secteur du **transport**, plus élevée que dans d'autres secteurs, se justifie aussi par l'existence d'autres externalités (e.g. pollution de l'air, accidents, bruit). Les externalités négatives des transports carbonés sont généralement sous-tarifées (en particulier pour l'aviation long-courrier), tandis que les transports collectifs terrestres, peu émetteurs, sont, pour certains, subventionnés de façon importante. La rentabilité privée des voitures électriques (c'est-à-dire l'écart de coûts d'acquisition et d'usage par rapport aux voitures thermiques) s'améliore, en particulier grâce à la forte baisse du coût des batteries, et est atteinte pour les voitures parcourant de longues distances, tandis que des solutions de décarbonation dans certains sous-secteurs difficiles à électrifier (e.g. carburants alternatifs pour l'aviation) restent encore coûteuses et peuvent générer des risques environnementaux ainsi que des conflits

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

d'usage (e.g. biomasse). La coordination internationale est importante pour la tarification des transports internationaux.

- La décarbonation du **parc privé de logements**, qui doit pouvoir s'appuyer sur une prise en compte progressive de la performance énergétique des logements dans les prix des logements et des loyers (« valeur verte » du bien), doit surmonter des coûts d'abattement plus élevés qu'anticipés par les modèles, et plusieurs défaillances de marché dont de fortes asymétries d'information (entre propriétaire et locataire par exemple). Ces défis appellent à prioriser l'action sur les logements les moins performants énergétiquement (passoires thermiques), et justifient un recours aux instruments informationnels (Diagnostic de Performance Energétique) et règlementaires (obligation de rénovation des logements à la location). En particulier, la rénovation des logements les moins performants occupés par les plus modestes peut s'accompagner d'une baisse de la précarité énergétique et de gains sanitaires.
- **L'agriculture française** bénéficie déjà d'une intensité en émissions relativement faible par rapport aux principaux producteurs mondiaux pour les productions végétales et certains types d'élevage. Elle pourrait encore améliorer sa performance climatique en mobilisant des leviers de décarbonation dotés de coûts d'abattement théoriques faibles ou modérés (e.g. agroforesterie, méthanisation, haies), bien que leur mise en œuvre soit limitée par un certain nombre d'obstacles induisant autant de coûts additionnels. Certains modèles économiques durables (e.g. production biologique) ont permis de réduire les émissions de GES sans détériorer la performance économique, mais il est difficile de généraliser ces cas particuliers. L'agriculture se distingue par une faible tarification de ses émissions de GES par rapport aux autres secteurs. Les politiques de décarbonation de l'agriculture devront aussi être évaluées au prisme du risque de fuites de carbone. La décarbonation de l'alimentation sera une opportunité de renforcer la souveraineté alimentaire.
- Les **forêts** ont une importance stratégique pour atteindre nos objectifs climatiques à horizon 2030 et 2050. Le puits de carbone des forêts et des terres de la France a été divisé par deux depuis les années 2010. Malgré de fortes incertitudes, les projections scientifiques anticipent une forte chute du puits de carbone naturel français jusqu'à 2050, en partie liée à la multiplication et l'intensification des aléas naturels, causées par le changement climatique. Cette réduction de la capacité d'absorption naturelle, qui dépendra notamment des politiques publiques sur la protection et l'usage des forêts, implique que l'effort de réduction des émissions brutes devra être d'autant plus important pour atteindre la neutralité carbone.

L'adaptation au changement climatique est indispensable pour limiter les dommages.

- L'adaptation au changement climatique désigne une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. L'adaptation a ainsi le potentiel d'atténuer les effets préjudiciables (i.e. de limiter les dommages associés au changement climatique) et aussi, quoique plus rarement, d'en exploiter les effets bénéfiques.
- À la différence de l'atténuation, l'adaptation au changement climatique peut produire des bénéfices privés, ce qui incite à une adaptation « spontanée ». Toutefois, certaines défaillances de marché et autres barrières conduisent à une action privée d'adaptation insuffisante ou contreproductive (« mal-adaptation »), justifiant une intervention de l'État. L'action publique est ainsi nécessaire pour engager certaines actions d'adaptation, éviter la mal-adaptation et minimiser les coûts de l'adaptation et des dommages résiduels.
- De nombreuses actions peuvent être privilégiées à court terme, car agir aujourd'hui coûte le plus souvent moins cher, en valeur actuelle, que d'agir demain. Le troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) mis en consultation en propose certaines (e.g. intégrer le confort d'été dans la conception des bâtiments neufs).

Sommaire

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone.....	1
Synthèse	3
Sommaire	10
1 Rappels des enseignements transversaux du rapport intermédiaire	14
Messages clés	14
1.1 L'inaction face au changement climatique aurait des conséquences physiques, sanitaires et économiques considérables	19
1.2 Les engagements ambitieux de lutte contre le changement climatique impliquent un renforcement des politiques de transition vers la neutralité carbone	27
1.3 Réussir la transition à moindres coûts.....	30
2 Effets macroéconomiques de la transition vers la neutralité carbone	41
Messages clés	41
2.1 Un renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre pour déclencher les investissements en décarbonation pour l'ensemble des pays	43
2.2 Quelles conséquences de la transition vers la neutralité carbone sur l'économie française ?	47
2.3 La transition énergétique aura des effets économiques hétérogènes selon les pays et le niveau d'action climatique	55
3 La transition vers la neutralité carbone doit être pensée dans un contexte mondial.....	63
Messages clés	63
3.1 L'Accord de Paris encourage chaque pays à renforcer progressivement ses politiques climatiques	64
3.2 Le renforcement de la tarification du carbone dans le monde et les mécanismes d'ajustement carbone aux frontières constituent des instruments efficaces pour réduire les émissions et prévenir les fuites de carbone.....	68
4 Les enjeux de la transition bas-carbone pour les finances publiques.....	79
Messages-clés	79
4.1 Le changement climatique et la transition bas-carbone auront des implications pour les finances publiques qui restent à approfondir	80
4.2 Illustration de l'impact des instruments de politique climatique sur les finances publiques.....	83

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

4.3 La transition bas-carbone érodera les recettes de fiscalité énergétique fossile	86
5 Finance privée et décarbonation de l'économie française.....	90
Messages-clés.....	90
5.1 Des défaillances de marché et des barrières au financement de l'investissement bas-carbone, ainsi qu'à la bonne prise en compte des risques climatiques par le secteur financier subsistent.....	91
5.2 Le cadre de la finance durable vise à améliorer la transparence et la prise en compte des risques de transition par le secteur financier.....	98
6 Comprendre l'effet différencié de la transition sur les ménages pour les accompagner.....	102
Messages-clés.....	102
6.1 La transition bas-carbone touchera les ménages de manière différenciée	103
6.2 Les effets de la transition bas-carbone sur les ménages dépendent des politiques climatiques et d'accompagnement qui sont mises en place.....	109
7 La transition vers la neutralité carbone aura d'importantes répercussions sur les emplois et les compétences.....	118
Messages-clés.....	118
7.1 La transition aurait un effet net faible sur l'emploi, et donnerait lieu à des réallocations d'une ampleur encore incertaine.....	119
7.2 Les créations d'emplois verts sont deux fois plus rapides que la moyenne de l'économie	121
7.3 La sortie ou la transformation des emplois bruns nécessite un suivi des territoires et des profils vulnérables	127
8 Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone pour l'industrie française	134
Messages-clés.....	134
8.1 La transition implique une transformation technico-économique pour les industries fortement émettrices	135
8.2 La transition impliquera une réorganisation des chaînes de valeur mondiale des filières brunes vers les vertes	142
8.3 L'innovation bas-carbone est un facteur clé pour la réussite économique de la transition.....	148
9 L'électricité au cœur de la décarbonation du système énergétique.....	153
Messages-clés.....	153
9.1 L'électricité est au cœur des enjeux de transformation du système énergétique	
154	

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

9.2 Réussir à transformer les réseaux de transport et de distribution à moindre coût	170
10 Les enjeux économiques de la décarbonation du transport de voyageurs	175
Messages-clés	175
10.1 Les émissions du transport, qui ont peu baissé historiquement, doivent diminuer à un rythme soutenu pour atteindre les objectifs de décarbonation	177
10.2 La décarbonation du transport de voyageurs passe par une combinaison d'instruments.....	184
11 Les enjeux économiques de la décarbonation de l'agriculture	201
Message clés	201
11.1 La stratégie de décarbonation de l'agriculture implique des évolutions de l'offre et de la demande qui auront des répercussions économiques, et s'articule avec d'autres objectifs de politique publique.....	202
11.2 L'intervention publique pour décarboner l'agriculture et ses implications économiques	210
12 Les enjeux économiques de l'adaptation au changement climatique	228
12.1 Les grands principes économiques de l'adaptation au changement climatique	228
12.2 Les enjeux assurantiels de l'adaptation au changement climatique.....	232
13 Les enjeux économiques des politiques de décarbonation du parc privé de logements : messages clés	235
14 Annexes	238
14.1 Annexe du Chapitre 2 – Effets macroéconomiques	238
14.2 Annexe du Chapitre 4 – Enjeux pour les finances publiques	240
14.3 Annexe du Chapitre 6 – Enjeux distributifs - Hypothèses principales des cas-types	256

La version intermédiaire de ce rapport, publiée en décembre 2023, comprend des analyses complémentaires et est accessible à ce lien :

[Rapport intermédiaire Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone | Direction générale du Trésor](#)

ENCADRÉ

La DG Trésor renforce ses capacités d'analyse sur les enjeux de la transition écologique

En septembre 2023, la Direction générale du Trésor a renforcé son engagement en faveur de la transition écologique en créant une nouvelle sous-direction dédiée aux enjeux environnementaux, baptisée TRECO et comprenant environ 25 agents, organisés en quatre bureaux couvrant différents aspects de la transition (climat, environnement, biodiversité et adaptation, énergie, analyse prospective)¹. Son objectif principal est de développer des analyses économiques et des recommandations de politique publique sur les enjeux de transition écologique.

Le présent rapport, ainsi que sa version intermédiaire² publiée en décembre 2023, ont été réalisés sous l'égide de cette sous-direction et avec la participation des autres sous-directions de la DG Trésor.

TRECO est également responsable de la coordination de la publication de la Stratégie Pluriannuelle des Financements de la Transition Ecologique et de la politique énergétique nationale (SPAFTE), introduite par la loi en 2023 et remise par le gouvernement au Parlement. Elle dresse un panorama des financements de l'ensemble des acteurs de l'économie en faveur de la transition écologique, et présente une perspective pluriannuelle inédite, en retraçant les tendances des années récentes et en présentant des scénarios pour les années à venir, jusqu'en 2027. Elle est complémentaire du rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État, publié annuellement, qui détaille les financements de l'État (« budget vert »). La première édition de la SPAFTE, publiée en octobre 2024³, fera ainsi l'objet d'une actualisation annuelle, afin d'amplifier une mobilisation efficace des financements publics et privés au service des engagements climatiques et environnementaux de la France.

La Direction générale du Trésor renforce aussi son investissement dans les outils d'évaluation macroéconomique de la transition. En particulier, depuis l'été 2023, le modèle macroéconomique « Mésange » intègre un module permettant d'évaluer l'impact des réformes et chocs économiques sur les émissions de gaz à effet de serre et sur le bouquet énergétique⁴.

¹ [Une nouvelle sous-direction «TRECO» à la Direction générale du Trésor | Direction générale du Trésor](#).

² DG Trésor (2023), « [Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone](#) », rapport intermédiaire.

³ DG Trésor (2024), « [La Stratégie Pluriannuelle des Financements de la Transition Écologique et de la politique énergétique nationale \(SPAFTE\)](#) ».

⁴ DG Trésor (2024), « [Mésange vert : un outil pour évaluer les effets de chocs économiques sur les émissions de carbone francaises](#) ».

1 Rappels des enseignements transversaux du rapport intermédiaire

Messages clés

Les effets du changement climatique sont déjà observables et augmenteraient considérablement d'ici la fin du siècle en l'absence d'action climatique globale additionnelle.

- Le réchauffement mondial des températures a atteint +1,2°C sur la période 2014-2023 et +2,1°C en France hexagonale par rapport à l'ère préindustrielle. Il pourrait atteindre respectivement +3°C environ au niveau mondial et +4°C en France hexagonale d'ici la fin du siècle sans renforcement des politiques d'atténuation. Le respect de l'ensemble des engagements des pays et des objectifs de neutralité carbone annoncés permettrait de rester en-dessous des +2°C au niveau mondial fixé par l'Accord de Paris.
- Les effets physiques du changement climatique sont déjà observables et s'intensifient à chaque augmentation incrémentale de température. Ils se traduisent notamment par des dommages substantiels aux écosystèmes et à la biodiversité et par un accroissement de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, pluies extrêmes, tempêtes, etc.).
- Le changement climatique affecte la sphère socio-économique, en particulier via les dégâts des événements extrêmes, les effets sur la santé, ou la perte de services rendus par les écosystèmes et la biodiversité. Les effets sur la santé et l'économie sont multiples, le changement climatique pouvant entraîner à la fois des décès, des pertes de productivité, et des destructions de capital physique et naturel. Estimer l'ampleur des dommages attendus est un exercice particulièrement complexe qui dépend de la méthodologie et du scénario de réchauffement choisi. Le dernier rapport de synthèse du GIEC retient qu'un réchauffement de +4°C au niveau mondial en 2100 entraînerait un déclin du PIB mondial compris entre 10 % et 23 %. Les derniers travaux du *Network for Greening the Financial System* estiment que les dommages d'un réchauffement de +3°C pourraient réduire le PIB mondial d'au moins 15 % d'ici 2050 et 30 % en 2100, par rapport à un scénario contrefactuel sans réchauffement.

La France s'est engagée à atteindre la neutralité carbone à horizon 2050, ce qui nécessite une accélération des efforts.

- La France est partie à deux engagements internationaux majeurs sur l'atténuation du changement climatique : l'Accord de Paris, qui implique de contenir l'augmentation de température si possible à +1,5°C et nettement sous +2°C, et la loi européenne sur le climat, qui décline cet accord en deux objectifs, une réduction des émissions annuelles européennes nettes de gaz à effet de serre - GES - de 55 % en 2030 par rapport à 1990 et l'atteinte de la neutralité carbone en 2050. L'Accord de Paris et la loi européenne sur le climat sont complétés par de multiples engagements sectoriels internationaux. La planification écologique française, annoncée en 2022 par le Président de la République et la Première ministre, traduit ces engagements de la loi européenne sur le climat en un nouvel objectif national visant une réduction des émissions brutes d'environ -50 % en 2030 par rapport à 1990.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- Les émissions brutes de GES françaises ont diminué de 14 Mt CO₂éq par an en moyenne entre 2019 et 2023. L'atteinte de la neutralité carbone nécessite de maintenir ce rythme et est rendue plus difficile par la dégradation des puits de carbone naturels (-55 % entre 2013 et 2023).

La transition vers la neutralité carbone nécessite une transformation profonde de l'économie. Cette transformation est économiquement possible, quoiqu'elle pourrait induire un ralentissement de la croissance durant la transition. La transition écologique pourrait également, sous certaines conditions, présenter des opportunités économiques pour la France en raison de sa « compétitivité carbone ». À moyen et long terme, sous réserve d'incertitudes plus fortes, une transition réussie pourrait permettre la reprise d'un sentier de croissance similaire à celui qui aurait prévalu en l'absence de réchauffement. La transition peut par ailleurs s'accompagner de co-bénéfices en termes de bien-être. Elle permettra, dans le cas de la France et de l'Europe, d'améliorer la sécurité d'approvisionnement énergétique et l'autonomie stratégique.

- La France se caractérise par une faible intensité carbone en comparaison internationale, en baisse depuis les années 1990. Le respect des engagements nationaux de réduction des émissions de GES implique l'accélération de nos efforts de découplage entre les émissions de GES et l'activité économique.
- La croissance risque toutefois de ralentir pendant la phase de transition, notamment du fait du remplacement progressif de sources d'énergie carbonées par des sources d'énergie initialement plus coûteuses, et du financement des investissements de décarbonation, qui pourrait se faire au détriment de la consommation ou d'autres investissements. Par ailleurs, les nécessaires comportements de sobriété se traduiront par une moindre consommation. Le chapitre 2 présente une illustration quantitative de ces mécanismes.
- À long terme, les politiques d'atténuation induisent des bénéfices, en premier lieu au regard des effets délétères du changement climatique évités, mais aussi par les gains de productivité des technologies bas-carbone qui auront été développées, qui pourraient permettre la reprise d'un sentier de croissance similaire à celui qui prévalait avant la transition, sous réserve d'incertitudes importantes vu l'horizon lointain. Cependant, ces bénéfices seront conditionnés par les coûts d'ajustement dans l'appareil productif, par la bonne orientation des capacités de financement, mais aussi par le niveau de coopération internationale : limiter le changement climatique nécessitera une mobilisation de tous les pays.
- La transition vers la neutralité carbone nécessite un pilotage par les politiques publiques. Ces dernières devront stimuler les importants investissements supplémentaires nécessaires à la transition, privés et publics, mais essentiellement privés, qui s'élèveraient, selon un document de travail de la DG Trésor, à environ +110 Md€ par an en 2030 (soit +63 Md€ par an en net de la baisse d'investissements carbonés) et dont les montants à horizon 2050 sont encore incertains. Ces montants sont dans l'ensemble cohérents avec ceux de la mission de Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz.
- La disponibilité d'énergie bas-carbone à des prix compétitifs et un environnement favorable à l'innovation verte favoriseraient le développement des activités bas-carbone.
- La transition permettra d'améliorer plusieurs dimensions de la sécurité d'approvisionnement et de souveraineté énergétique : en France, les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance commerciale (les importations de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix, déterminés sur les marchés mondiaux. Cependant, l'évolution des dépendances économiques demeure incertaine,

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

notamment au regard de l'importation de matériaux critiques pour la mise en œuvre de la transition.

- Si elle est bien conduite, la transition écologique pourrait également améliorer plusieurs dimensions du bien-être, notamment en santé (par exemple la qualité de l'air).

Les différentes politiques de décarbonation, de transition énergétique et d'adaptation au changement climatique doivent être évaluées selon de multiples critères : économiques, sociaux et environnementaux.

- Au-delà du respect des engagements climatiques, la transition vers la neutralité carbone s'inscrit au sein d'un ensemble d'objectifs de politiques économiques en particulier et de politiques publiques en général : stabilité macroéconomique et financière ; soutenabilité des finances publiques ; niveau de vie des ménages ; développement des entreprises ; plein emploi ; préservation de l'environnement et de la biodiversité... Ce rapport analyse la contribution des différentes politiques de décarbonation et de transition énergétique à ces différents objectifs et les éventuelles tensions entre objectifs selon les instruments retenus, sous l'angle économique.
- Une stratégie d'adaptation est nécessaire pour pallier les conséquences croissantes du changement climatique sur les activités socio-économiques et sur la nature, y compris dans un contexte de transition réussie. En France, cette stratégie est présentée dans les plans nationaux d'adaptation au changement climatique (PNACC), dont la troisième version a été soumise à consultation fin 2024 (cf. Chapitre 12).

Dans un contexte où les coûts et bénéfices associés aux différentes actions de décarbonation sont hétérogènes et difficilement observables par la puissance publique, donner un prix uniforme au carbone constitue un outil puissant pour décarboner l'économie à moindre coût.

- Les actions de décarbonation correspondant aux différents leviers de la transition ont des coûts et des bénéfices hétérogènes, de différentes natures, incertains, et complexes à mesurer. Par exemple, une partie des émissions du secteur de l'industrie provient de procédés divers spécifiques à chaque produit. Les coûts et les technologies de décarbonation varient fortement à la fois entre les différentes activités, et d'un site industriel à l'autre. Dans un contexte d'information imparfaite, donner un prix au carbone incite les différents acteurs économiques à déclencher toutes les actions de décarbonation qui ont un coût privé inférieur au prix du carbone, sans que la puissance publique ait besoin de connaître les coûts privés des différents acteurs.
- Donner un prix au carbone réduit les émissions de gaz à effet de serre à court terme, et plus encore à long terme, en incitant à un changement structurel de l'offre et la demande en biens et services carbonés et bas-carbone.
- En France, en 2023, 71 % des émissions de gaz à effet de serre sont couvertes par une tarification effective nette des subventions aux énergies fossiles, à un niveau moyen de 91 €/tCO₂éq. Dans le monde, en 2021, la tarification effective nette moyenne couvre 41 % des émissions et s'élève à 17 €/tCO₂éq. Les deux principaux instruments de tarification du carbone en France sont le marché du carbone européen (dont l'ambition climatique est renforcée par le paquet « Fit for 55 »), et l'accise sur les énergies (qui regroupe les anciennes taxes intérieures sur la consommation nationale des différents produits énergétiques), dont la « composante carbone ». Ce niveau moyen de tarification effective masque toutefois une forte hétérogénéité de tarification entre secteurs et agents économiques.

Le seul prix du carbone ne suffirait pas à assurer une décarbonation à moindre coût en raison de l'existence de défaillances de marché en sus de l'externalité climatique, d'où la nécessité

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

d'instruments complémentaires, notamment pour stimuler l'innovation bas-carbone et limiter les fuites de carbone.

- L'innovation bas-carbone est cruciale pour développer les technologies bas-carbone et réduire leurs coûts, et doit surmonter au moins quatre défis en sus de l'externalité climatique : les externalités de connaissance, la dépendance au sentier, un horizon temporel parfois long associé à un niveau de risque élevé, et un besoin de coordination dans un contexte d'urgence climatique. Ces défis peuvent nécessiter un soutien public pour être relevés, comme par exemple le prévoit le plan France 2030 (cf. Chapitre 8).
- Une divergence de tarification du carbone entre pays fait peser le risque de fuites de carbone. C'est pourquoi l'Union européenne met actuellement en place un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) afin de surmonter cette difficulté dans un cadre compatible avec les règles du commerce international, et renforcer l'efficacité de sa politique climatique (cf. Chapitre 3).

Afin d'assurer une intervention publique efficace et équitable pour atteindre la neutralité carbone, il est utile d'analyser les différents instruments de politique publique selon les critères suivants : efficacité environnementale, efficience économique, et effets distributifs.

- L'efficacité environnementale consiste à associer à un instrument ou une combinaison d'instruments une réduction quantifiée d'émissions de GES. L'efficience économique implique de mesurer les coûts et bénéfices économiques associés aux instruments considérés, que l'on peut ensuite mettre en regard de l'efficacité environnementale (coût-efficacité, notamment par la mesure des coûts d'abattement). L'analyse des effets distributifs s'intéresse à la manière dont ces différents coûts et bénéfices sont répartis dans la société.
- La tarification du carbone, par exemple, se caractérise par une efficacité environnementale et une efficience économique élevées, mais des effets régressifs importants en l'absence de mesure d'accompagnement. Ces effets régressifs doivent être nuancés en fonction de l'utilisation qui est faite des recettes de la tarification carbone (cf. Chapitre 6).
- Le budget vert met en regard les ressources publiques environnementales, incluant les recettes de la tarification du carbone, et les coûts des différentes mesures favorables à la transition écologique. Ainsi, les recettes environnementales attendues par l'État en 2024 (26 Md€) seraient inférieures aux dépenses de l'État en faveur de la transition écologique (environ 40 Md€).

La planification écologique vise à assurer la cohérence et l'efficacité d'une action publique d'ampleur s'appuyant sur une pluralité d'instruments, impliquant de nombreux acteurs, et s'inscrivant dans le temps long.

- Comprise comme une organisation de l'action publique et privée sur le temps long pour atteindre des objectifs de réduction d'émissions, la démarche de planification écologique, mise en œuvre en France sous l'autorité du Premier ministre, vise à mettre en cohérence les leviers sectoriels de décarbonation avec les contraintes transversales tels que les contraintes physiques sur la biomasse ou la production d'électricité bas carbone. Le besoin de planification est également évident pour les enjeux de long terme liés aux infrastructures, tels que l'avenir des réseaux de gaz, ou de dimensionnement d'infrastructures de transport d'hydrogène ou de transport et stockage de CO₂. La planification englobe également les enjeux hors décarbonation, notamment la préservation des ressources et de la biodiversité, l'adaptation et la santé.
- La démarche de planification écologique menée par la France n'est pas antinomique avec les mécanismes de marché. L'approche adoptée dans le présent rapport consiste à

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

éclairer les domaines de pertinence des instruments de marché, et ceux où une approche plus globale semble nécessaire de manière complémentaire voire alternative, en s'appuyant sur l'identification et l'analyse des défaillances de marché.

- Les coûts d'abattement sont des indicateurs utiles à l'évaluation des politiques climatiques : en indiquant le montant des surcoûts et bénéfices, en euros, d'une action de décarbonation associés à l'évitement d'une tonne de gaz à effet de serre, ils permettent de comparer l'efficience de différentes actions de décarbonation. Pour guider l'action publique, leur connaissance doit être améliorée et ils doivent être intégrés dans une grille d'analyse plus large. Ce rapport propose une telle grille d'analyse des politiques de décarbonation – dite ABCDE – qui intègre les coûts et le potentiel d'abattement (A) et d'autres facteurs essentiels à prendre en compte : enjeux de bouclage énergétique (B), cohérence entre les instruments (C), effet déclencheur des politiques publiques (D) et effets indirects, par exemple sur la santé ou la balance commerciale (E).

Si la combinaison d'instruments choisie détermine *in fine* les coûts de la décarbonation et leur partage entre les différents agents économiques, disposer d'une vision complète de la distribution des coûts des politiques de transition est un exercice particulièrement difficile.

- Deux difficultés apparaissent pour qui souhaite connaître la répartition des coûts parmi les différents acteurs : (1) les coûts associés aux actions de décarbonation sont hétérogènes et mal connus ; (2) les coûts supportés par un agent sont en partie répercutés sur d'autres agents selon des canaux de transmission complexes et parfois difficiles à mesurer.
- La complexité augmente à mesure que la palette d'instruments mobilisés s'accroît, avec les interactions à prendre en compte entre les différents instruments.

Les politiques de transition affectent les ménages de manière différenciée selon leur situation, ce qui justifie la mise en place de politiques d'accompagnement ciblées, et notamment en direction des ménages aux revenus modestes fortement contraints par leur situation (e.g. dépendance à la voiture du fait de leur localisation, ou possédant une chaudière au fioul ou au gaz fossile). Le chapitre 6 détaille ces enjeux distributifs.

1.1 L'inaction face au changement climatique aurait des conséquences physiques, sanitaires et économiques considérables

De nombreux travaux visent à estimer comment les impacts physiques du changement climatique affectent l'économie, en particulier via les dégâts des événements extrêmes, les effets sur la santé, ou la perte de services écosystémiques. Les effets socio-économiques sont multiples, le changement climatique pouvant entraîner à la fois des décès, des pertes de productivité, et des destructions de capital physique et naturel. Ces travaux permettent d'appréhender le coût économique du changement climatique futur et la vulnérabilité de l'économie aux risques physiques, et ainsi d'identifier des actions d'adaptation permettant de réduire ces impacts.

Les épisodes extrêmes récents, rendus plus intenses et fréquents par le changement climatique, ont déjà des conséquences humaines et économiques coûteuses pour de très nombreuses économies, y compris en Europe. En France, les sinistres climatiques se sont accélérés sur les dernières années. À lui seul, le coût de la sinistralité de la sécheresse de 2022 est estimé à environ 3,5 Md€ - le plus important jamais connu par le régime Cat-Nat depuis 40 ans⁵. En Allemagne, une étude⁶ commandée par le ministère fédéral de l'Économie et du Climat estime que les inondations de la vallée de l'Ahr et de l'Erft en 2021 ont causé au moins 41 Md€ de dommages : 33 Md€ de dommages directs, liés à la destruction de capital économique, ainsi qu'à la perte d'heures travaillées, auxquels s'ajoutent 7 Md€ de dommages indirects liés aux défaillances des infrastructures à long terme et à la déstabilisation des chaînes de valeur en aval (cf. Graphique 1). Aux États-Unis, la multiplication et la sévérité des incendies ont causé 82 Md\$ de dommages entre 2017 et 2021, soit près de dix fois plus qu'entre 2012 et 2016⁷. En septembre 2023, le passage d'une tempête en Libye, accompagnée de pluies extrêmes et d'inondations, a causé la mort de milliers de personnes, le déplacement de 30 000 autres, ainsi que la destruction de barrages et de quartiers entiers de la ville de Derna. Les inondations autour de Valence en Espagne de novembre 2024 ont, outre un bilan humain meurtrier, conduit à la mise en place d'un plan d'urgence de 11 Md€ par le gouvernement⁸, tandis que la Banque d'Espagne⁹ estime que le secteur financier espagnol est exposé à hauteur de 20 Md€ d'encours de crédit.

⁵ CCR (2024), «[Rapport scientifique 2024](#)»

⁶ BMWK (2023), « Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland ».

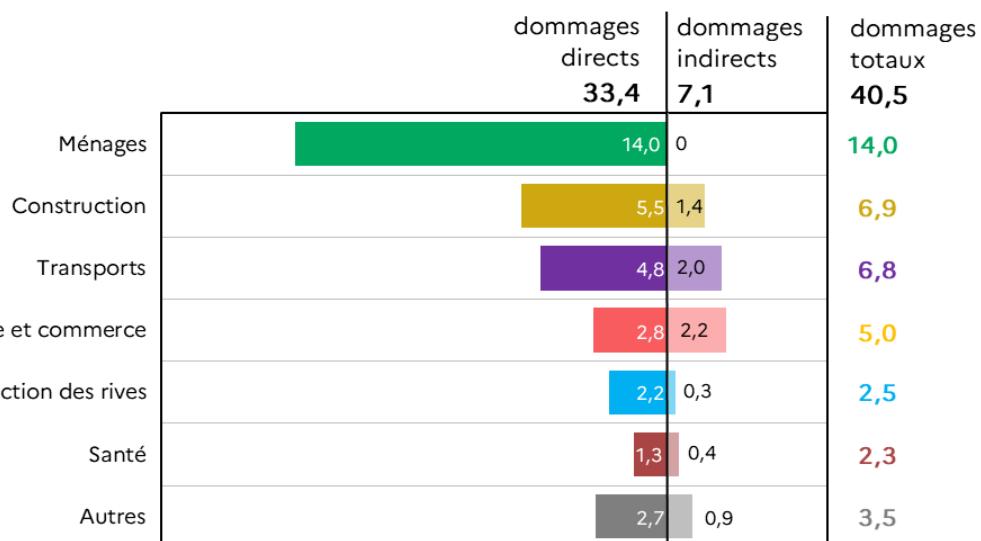
⁷ NOAA national centers for Environmental Information (NCEI) (2023) "U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters".

⁸ [Plan de soutien du gouvernement espagnol suite aux inondations DANA](#).

⁹ [Communication de la Banque d'Espagne](#).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

GRAPHIQUE 1
Les inondations de juillet 2021 en Allemagne :
répartition des coûts monétaires directs et indirects (en Md€)



Source : Trenczek et al. (2022), « Dommages causés par les crues soudaines et les inondations en juillet 2021 en Allemagne », Projet « Coûts du changement climatique » du BMWK

Le changement climatique a également des impacts importants sur la santé humaine. Aujourd’hui, 3,3 à 3,6 milliards de personnes vivent dans des contextes très vulnérables au changement climatique¹⁰, ce qui pourrait causer environ 250 000 décès par an supplémentaires entre 2030 et 2050, selon l’Organisation mondiale de la santé (OMS). Ils seraient la conséquence de la multiplication des aléas climatiques extrêmes, mais aussi de la pénurie d’eau potable, dont la moitié de la population mondiale souffre aujourd’hui au moins une fois par an. Ces effets négatifs affectent particulièrement l’Afrique, l’Asie, l’Amérique centrale et du Sud et les petits États insulaires des Caraïbes et du Pacifique, alors même que leurs plus faibles ressources financières obèrent leur capacité d’adaptation¹¹. La dégradation des systèmes naturels favoriserait par ailleurs le développement de certaines maladies, comme la dengue en France, mais également les piliers de la sécurité alimentaire (effet adverse sur la productivité de l’agriculture et de la pêche, ruptures d’approvisionnement liées aux événements climatiques extrêmes).

Si l’ensemble des secteurs de l’économie devraient être touchés par les effets du changement climatique à travers le monde, cinq secteurs y seraient particulièrement vulnérables : le secteur agricole, le secteur de l’énergie, le secteur des infrastructures, le secteur financier et celui du tourisme. Les impacts dépendront des actions d’adaptation qui auront été mises en œuvre. D’après une revue de littérature de la DG Trésor¹², l’agriculture est le secteur le plus directement vulnérable au changement climatique au niveau mondial¹³ : le secteur devrait connaître de fortes variations du volume et de la qualité de sa production, y compris les activités de pêche et d’élevage. Ces effets seraient concentrés dans les pays proches de l’équateur, qui représentent aujourd’hui près de 53 % de la production agricole mondiale¹⁴. Dans le secteur de l’énergie, le changement climatique restreindrait la production d’énergie électrique par les centrales hydrauliques, thermiques et nucléaires, pénalisées par l’abaissement du niveau et l’élévation de la température des cours d’eau. En outre, le réseau de distribution de l’énergie subirait également

¹⁰ GIEC (2023) « Climate Change 2023: AR6 Synthesis Report ».

¹¹ Gaillat E., Guiet V. (2023) « Les économies émergentes face au dérèglement climatique », Trésor-Éco n°328, Direction Générale du Trésor.

¹² Lancesseur N., Labrousse C., Valdenaire M., Nakaa M., (2020) « Impact économique du changement climatique : revue des méthodologies d’estimation, résultats et limites », Document de Travail n°2020/4, Direction Générale du Trésor.

¹³ European Environment Agency (2019), "Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe", EEA report n°4.

¹⁴ Données de la Banque Mondiale (<https://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development>).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

des dommages. D'abord, les fortes températures pourraient endommager et réduire la conductivité des câbles électriques actuels¹⁵. Ensuite la multiplication des catastrophes naturelles augmenterait le risque d'endommagement des réseaux électriques et de pipelines (cf. Section 9.2.2). Le secteur des infrastructures (construction, bâtiment, logement et transport) risque de subir de nombreux dommages ou destructions ainsi qu'une augmentation des coûts d'entretien à cause des différents impacts physiques du changement climatique. Dans les secteurs bancaire et assurantiel, l'augmentation de la sinistralité des biens assurés aurait pour conséquence une augmentation des cotisations d'assurance et pourrait aboutir à la non-assurabilité de certains risques (cf. Chapitre 12), tandis que les placements financiers touchés par un événement climatique extrême verraient leur valeur se déprécier (cf. Chapitre 5). Enfin, si le changement climatique ne réduirait pas nécessairement la demande touristique, il causerait en revanche une redistribution géographique et temporelle des flux touristiques ainsi qu'un ajustement de l'offre touristique, notamment dans les régions auparavant enneigées¹⁶.

Le changement climatique pourrait dégrader la qualité des services écosystémiques, et accentuerait l'effondrement de la biodiversité. Les services écosystémiques désignent l'ensemble des avantages socio-économiques retirés par l'homme des écosystèmes, tels que la pollinisation, la régulation des ravageurs ou encore la captation du carbone par les forêts et terres¹⁷. Le coût socio-économique induit par la disparition de ces services rendus par les écosystèmes ne peut être qu'en partie mesuré et se heurte à de fortes difficultés méthodologiques, liées à la nature même de ces services comme au caractère multidimensionnel et aux aspects encore mal connus de la biodiversité. Notamment, le coût estimé se limite souvent à quelques services écosystémiques et une prise en compte partielle de leurs synergies, pour un hectare. Une agrégation de ces effets locaux aboutit à une valorisation des services écosystémiques égale à 1,6 fois le PIB mondial environ, avec une réduction potentielle de cette valorisation de 30 % d'ici 2050, en cas d'inaction climatique¹⁸. Par ailleurs, certains secteurs d'activité économique sont vulnérables à la dégradation des écosystèmes, comme l'agriculture et la foresterie (rendement des sols, espèces invasives), la pêche (disparition des espèces), le tourisme (dégradation des paysages), l'industrie et la construction (via les matériaux et substances naturelles fournis par les écosystèmes). Par exemple, la dégradation des terres a entraîné une réduction de la productivité agricole sur 23 % de la surface terrestre depuis 1970¹⁹. Selon une méta-analyse de la DG Trésor, 44 % de la valeur ajoutée brute française dépend fortement du capital naturel²⁰.

Si les canaux de transmission du changement climatique à la sphère économique ont fait l'objet d'une littérature abondante, leur diversité et leur interdépendance rendent très difficile l'estimation agrégée des impacts associés. Les risques associés au changement climatique peuvent ainsi directement réduire le stock de capital productif, son taux d'utilisation²¹ et sa productivité (événements climatiques extrêmes, pertes de production agricole et électrique, comme décrit précédemment). Ces risques de destruction et l'incertitude quant à la matérialisation des événements climatiques pourront conduire les entreprises à réduire leurs investissements, ce qui pèsera sur la production. Cet effet pourra toutefois être partiellement compensé si les nouveaux outils de production adoptés sont plus performants que les anciens. La matérialisation des effets du changement climatique et leur anticipation inciteront les

¹⁵ DOE (2013) « U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather », US Department of Energy.

¹⁶ GIEC (2014), « Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ».

¹⁷ Le programme Efese (Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques), piloté par le Commissariat général au développement durable, propose [différents rapports thématiques](#) pour présenter les services rendus par les écosystèmes français.

¹⁸ Bouchet V., Bourcet C., Cécillon É., Lavaud S. (2021) « Évaluations économiques des services rendus à la biodiversité », Trésor-Éco n°294, Direction Générale du Trésor.

¹⁹ IPBES (2019) "Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services"

²⁰ Bouchet V., Bourcet C., Cécillon É., Lavaud S. (2021), *Ibid*.

²¹ Un aléa climatique peut par exemple perturber les chaînes d'approvisionnement logistiques, créer des goulets d'étranglement et mettre des usines à l'arrêt par manque de composantes intermédiaires.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

entreprises à investir dans l'adaptation, afin de limiter leur risque d'exposition aux chocs climatiques, mais ces investissements peuvent également avoir un effet d'éviction sur les investissements en recherche et développement (R&D) et en adoption de nouvelles technologies, réduisant la croissance potentielle. Ensuite, l'augmentation des températures et des niveaux d'humidité, ainsi que les événements climatiques extrêmes, risquent de détériorer le capital humain, conduisant à une perte de productivité du travail (cf. Tableau 1). L'impact économique dépendra également des politiques budgétaires et monétaires, ainsi que des réactions du système financier et du bouclage international (cf. *infra* pour ce dernier point), dont les effets sont incertains. Si certaines études adoptent une approche énumérative, reposant sur la somme des pertes économiques associées aux différents impacts, d'autres mobilisent des modèles macroéconomiques bouclés. L'encadré 1 décrit plus en détail ces méthodes et leurs limites, tandis que la fin de cette section présente les estimations agrégées les plus récentes disponibles dans la littérature scientifique.

TABLEAU 1
L'effet du changement climatique sur les composantes de la production potentielle

	Capital économique	Disponibilité de la main-d'œuvre	Productivité globale des facteurs
Effets de long terme du changement climatique	<p>Perte de terres agricoles, dues aux hautes températures, au stress hydrique et à la salinisation des sols liée à la montée du niveau de la mer.</p> <p>Perturbation de l'activité économique dans les zones côtières, en raison de la montée du niveau de la mer. Perte de biodiversité et de services écosystémiques.</p> <p>Modification des flux touristiques.</p>	<p>Augmentation des taux de mortalité et de maladie.</p> <p>Migrations induites par les évolutions climatiques.</p> <p>Augmentation du chômage structurel dans certaines régions, en raison de la baisse d'activité touristique par exemple.</p>	<p>Productivité du travail réduite par les hautes températures, incluant une baisse du temps de travail.</p> <p>Le capital investi pour l'adaptation est globalement moins productif et détourne des ressources de l'innovation.</p>
Caractère extrême des températures et des événements climatiques	<p>Destruction de capital économique durant les désastres climatiques.</p> <p>Opportunité de remplacer l'ancien capital détruit par du nouveau capital, plus avancé technologiquement.</p> <p>L'accroissement de l'incertitude et de la volatilité économiques réduit les incitations à investir sur des projets de long terme.</p>	<p>Augmentation des taux de mortalité et de maladie.</p> <p>Migrations induites par les événements climatiques extrêmes.</p> <p>Perte de temps éducatif et de compétences.</p>	<p>Les faillites induites par les désastres climatiques et les réductions localisées de l'accès aux financements entraîneraient de la réallocation entre entreprises.</p> <p>Le <i>management</i> se concentre sur les procédures de reconstruction plutôt que sur l'organisation de la production, ce qui réduit la productivité.</p>

Source : Banque Centrale Européenne (2023), « How climate change affects potential output », *Economic Bulletin Issue 6*

Les différentes études d'impact agrégé disponibles estiment que le réchauffement climatique aura un impact négatif sur le PIB mondial, croissant avec l'ampleur du réchauffement des températures. Bien que l'impact du changement climatique affecte de nombreuses dimensions socioéconomiques, et pas uniquement le PIB, les estimations des dommages sont souvent limitées au PIB. Elles sont par ailleurs très dépendantes de la méthode d'estimation retenue. Ainsi, si certaines méthodes estiment un impact jusqu'à -15 % de PIB mondial en 2050 et -30 % de PIB

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

en 2100 dans un cadre « à politique inchangée », d'autres suggèrent des impacts plus limités (-4 % en 2100 et même un impact nul en 2050)²². Cependant, les études les plus anciennes tendent à sous-évaluer les effets, tandis que les études plus récentes conduisent à des impacts plus importants, en raison d'une modélisation plus réaliste des dynamiques environnementales et climatiques et de leurs interactions avec les variables économiques. **Le GIEC retient ainsi, dans son dernier rapport de synthèse, qu'un réchauffement des températures d'environ 4°C en 2100 entraînerait un déclin du PIB mondial compris entre 10 % et 23 % à cet horizon.** Le réseau des banques centrales et des autorités de surveillance pour le verdissement du système financier (NGFS) publie des scénarios de référence pour la transition, avec les impacts macroéconomiques sur de nombreux pays, à partir d'une approche mêlant modèles technico-économiques calibrés sur un réchauffement mondial de +3°C en 2100 et impacts sectoriels²³. Selon ces scénarios, en cas d'inaction, l'impact du changement climatique sur l'activité via le réchauffement chronique s'élèverait à -15 points de PIB environ à horizon 2050 dans le monde, relativement à un contrefactuel sans évolution climatique, et -30 points en 2100.

Les évaluations des impacts au niveau mondial masquent de très fortes hétérogénéités régionales, les pays soumis actuellement aux climats les plus chauds étant les plus vulnérables aux effets du réchauffement climatique²⁴ (cf. Graphique 2). Ces pays en développement sont par ailleurs ceux dont l'économie repose le plus sur le secteur agricole, particulièrement soumis aux risques climatiques, mais également ceux dont la qualité des institutions et l'absence de système d'assurance obèrent leur capacité à faire face à ces changements. Les projections de l'OCDE²⁵ confirment l'hétérogénéité des impacts avec des pertes de consommation par habitant de l'ordre de 4 % à horizon 2060 pour l'Afrique subsaharienne, l'Asie du Sud et du Sud-Est, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, de 2 % pour l'Amérique latine et comprises entre 0 et 1 % pour les zones Amérique, Europe et Pacifique de l'OCDE.

Décliner au niveau national le chiffrage de coût total du changement climatique est un exercice particulièrement complexe, notamment en raison de la propagation des effets adverses le long des chaînes de valeur mondiales. L'évaluation des dommages au niveau national se heurte à des difficultés théoriques et pratiques : les données historiques reliant l'activité économique et les conditions climatiques sont rares et de qualité variable, tandis que la multiplicité des impacts économiques et sociaux possibles et les rétroactions entre les différents pays et secteurs rendent incertain tout exercice de chiffrage précis. Les destructions d'infrastructures et les réductions de production au niveau national se transmettraient ainsi aux autres pays via le commerce international. Ces effets économiques pourraient être d'ampleur très importante : à titre d'exemple des effets de « second tour », un séisme survenu au Japon en 2011, accompagné d'une diminution de la production industrielle nationale de 15 % résorbée en l'espace de 5 mois, a ainsi entraîné une chute des exportations de certains composants. Cela a, entre autres, perturbé l'approvisionnement de certaines usines américaines, avec un impact macroéconomique estimé à 0,5 point de PIB américain au deuxième trimestre 2011²⁶. Le réchauffement climatique pourrait également modifier la répartition des flux commerciaux internationaux, notamment via la modification des avantages comparatifs des différents pays : les économies les plus vulnérables au dérèglement climatique et les moins diversifiées verraient leurs coûts de production augmenter plus rapidement que leurs partenaires commerciaux, ce qui réduirait leur compétitivité relative.

²² Lancesseur N., Labrousse C., Valdenaire M., Nakaa M., « Impact économique du changement climatique : revue des méthodologies d'estimation, résultats et limites », Document de Travail n°2020/4, Direction Générale du Trésor.

²³ NGFS (2024), Technical Documentation V5, Climate Scenarios Database.

²⁴ Hsiang, S., Oliva, P., et R. Walker (2019). "The distribution of environmental damages". Review of Environmental Economics and Policy.

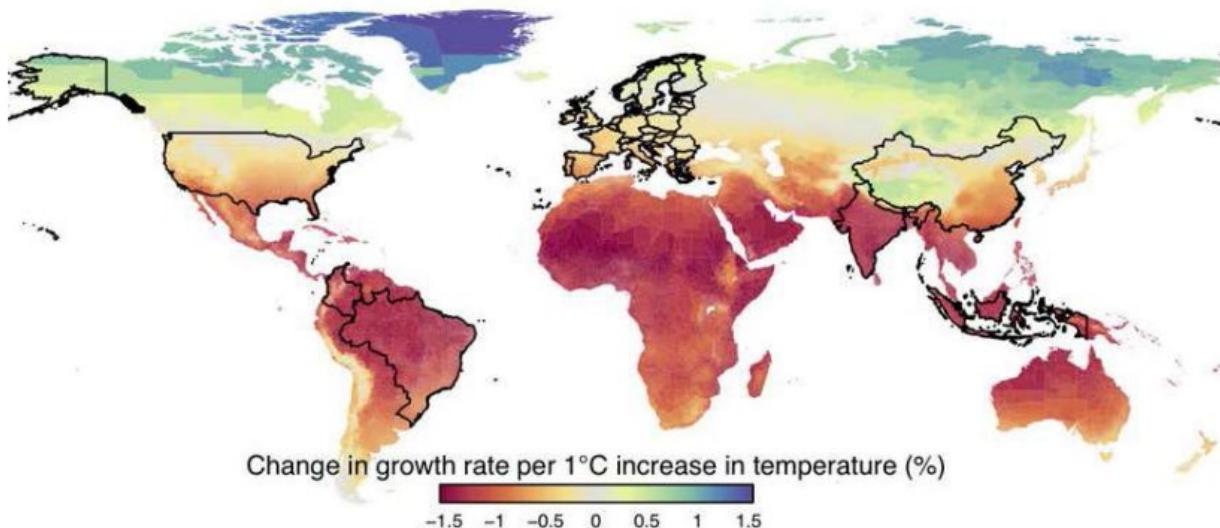
²⁵ OCDE (2016), « Les conséquences économiques du changement climatique », Éditions OCDE.

²⁶ Boehm C. E., Aaron F. et P.-N. Nitya (2016), « The Role of Global Supply Chains in the Transmission of Shocks: Firm-Level Evidence from the 2011 Tōhoku Earthquake », Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Les effets économiques du changement climatique pour la France sont encore insuffisamment connus. Le dernier recensement des effets économiques du changement climatique en France repose sur une revue énumérative sectorielle²⁷ (cf. Encadré 1) ; malgré sa couverture partielle, les impacts qui ont pu être monétisés dépassent 45 Md€ par an à horizon 2050, soit 1,3 % du PIB environ. Cependant, ces études ne considèrent qu'un nombre limité de canaux du changement climatique à l'économie et ignorent les risques de transition liés à la transformation des économies, comme les actifs échoués. Enfin, une approche hybride menée par le projet européen Peseta IV²⁸, couplant estimations sectorielles et données spatiales, permet d'évaluer la localisation des impacts à des échelles plus fines. Les dommages pris en compte dans l'exercice utilisant un modèle d'équilibre général calculable²⁹ atteindraient en moyenne 0,25 % du PIB français en 2100, dans un scénario de réchauffement global à +3°C, sans adaptation de l'économie, relativement à une situation sans changement climatique. À cela s'ajouterait notamment la réduction de la productivité du travail due à l'augmentation des températures, dont l'effet sur l'économie se traduirait par une réduction du PIB de -0,2 % et -0,5 % en 2050 et 2080 respectivement, dans un scénario de réchauffement mondial à +2°C en 2050 et +4°C en 2100³⁰. Cependant, ces estimations restent très incertaines, dépendent fortement des options de modélisations choisies et sont probablement sous-estimées. Elles n'incluent pas les enjeux non monétaires détaillés au début de cette section, comme certains effets sur la santé ou le bien-être, ainsi qu'une partie des services écosystémiques rendus par la biodiversité.

GRAPHIQUE 2
Hétérogénéité de l'impact du réchauffement climatique sur le taux de croissance du PIB



Source : Burke et Tanutama (2019) "Climatic constraints on aggregate economic output", NBER Working Paper Series.

Lecture : Variation du taux de croissance du PIB (en %) pour chaque augmentation d'1°C de température.

²⁷ Timbeau et al. (2023) rapport thématique « Dommages et adaptation » rattaché à la mission France Stratégie « Les incidences économiques de l'action pour le climat » pilotée par J. Pisani-Ferry et S. Mahfouz.

²⁸ Commission Européenne, Joint Research Center (2020), « Climate change and adaptation in Europe », PESETA IV final report.

²⁹ Ces risques incluent les inondations côtières et fluviales, les sécheresses et vagues de froid, les canicules et les tempêtes.

³⁰ Szewczyk et al (2021) « Heat stress, labour productivity and adaptation in Europe—a regional and occupational analysis ». Scénario RCP 8.5. L'estimation de réduction du PIB ne tient pas compte des politiques d'adaptation et est calculée en différence à un scénario où le climat resterait identique à celui de 1990.

ENCADRÉ 1

Les méthodologies d'évaluation des dommages et leurs limites

Compte-tenu de la complexité des phénomènes physiques sous-jacents, de l'absence de précédent historique, et de la variété des impacts, les estimations des impacts du changement climatique sont nécessairement incertaines. Trois méthodes principales sont mobilisées pour évaluer les impacts économiques du changement climatique.

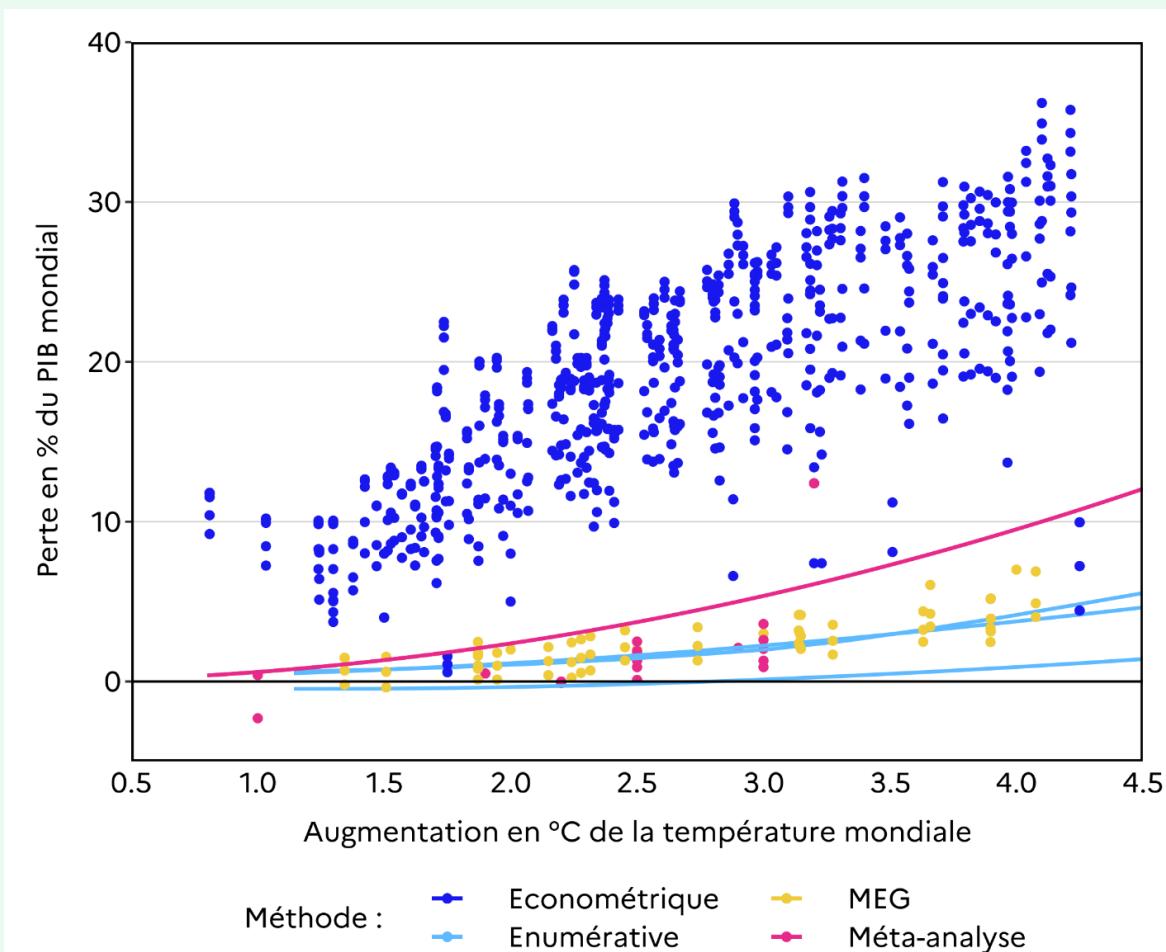
TABLEAU 2
Principes et limites des méthodes d'estimation de l'impact du changement climatique

Méthode	Principe	Limites
Énumérative	Agrégation de chiffrages d'impacts sectoriels. Les estimations sectorielles se fondent sur un principe de conversion monétaire : elles utilisent les prévisions d'impacts physiques établies par les travaux des climatologues et assignent une valeur marchande à ces impacts. Par exemple, les effets estimés de la hausse de température sur le rendement du blé sont traduits en impact monétaire sur la production de blé.	Risque de sous-estimer les dommages car ne prend en compte que les canaux qui ont été chiffrés, pas nécessairement exhaustifs (en particulier les interactions entre secteurs).
Modèles d'équilibre général (MEG)	Représentation dynamique du système économique d'un pays ou de plusieurs pays en interaction, chaque système ayant une déclinaison sectorielle et des agents représentatifs (consommateurs, État, producteurs) optimisant leurs décisions économiques face à un double choc – productivité et destruction de capital. Les modèles d'équilibre général offrent l'avantage de bien prendre en compte les réorganisations de l'activité liées au changement climatique.	Le calibrage de ces modèles pose problème : il n'est pas toujours possible de fonder empiriquement les paramètres choisis pour le modèle et l'éventuelle estimation de ceux-ci se fonde au mieux sur des chocs de petite ampleur, ce qui limite la crédibilité du modèle lorsqu'il est employé pour simuler des changements importants. Par ailleurs, à quelques exceptions près, les modèles d'équilibre général modélisent les réallocations de l'activité entre secteurs sans prendre en compte leur coût. De plus, ils ignorent les effets d'évitement du changement climatique : remédier aux destructions de capital nécessite des investissements supplémentaires à production constante, réduisant la productivité marginale du capital, tandis que les investissements d'adaptation peuvent s'effectuer au détriment de la R&D. Enfin, ces modèles ignorent la réduction de croissance potentielle associée à la perte de capital humain.
Économétrique	Extrapolation à partir de données historiques de la relation entre économie et climat, en coupe ou en panel (c'est-à-dire sur une ou plusieurs années), notamment en exploitant l'impact du réchauffement et des chocs climatiques déjà observés.	L'extrapolation linéaire des impacts peut sous-estimer leur intensification autour de points de bascule, en particulier pour des impacts qui ne se sont pas encore manifestés de manière importante sur des données historiques (par exemple montée des eaux). À l'inverse, prise en compte imparfaite de l'adaptation au changement climatique.

Source : Lancesseur N., Labrousse C., Valdenaire M., Nakaa M., « Impact économique du changement climatique : revue des méthodologies d'estimation, résultats et limites », Document de Travail de la DG Trésor n°2020/4

Les résultats à l'échelle mondiale compilés dans le dernier rapport du GIEC (cf. Graphique 3) suggèrent que les estimations de l'impact du changement climatique sur le PIB dépendent fortement de la méthodologie employée : les résultats des études économétriques seraient bien supérieurs à ceux des études énumératives ou basées sur des modèles d'équilibre général (MEG).

GRAPHIQUE 3
Impacts économiques agrégés du changement climatique,
selon le niveau de réchauffement et la méthode mobilisée



1.2 Les engagements ambitieux de lutte contre le changement climatique impliquent un renforcement des politiques de transition vers la neutralité carbone

1.2.1 La France est signataire d'engagements ambitieux aux niveaux mondial, européen et national

La France est signataire de l'Accord de Paris, adopté par 195 nations le 12 décembre 2015, qui vise à maintenir l'augmentation de la température mondiale nettement sous 2°C et à mobiliser des efforts encore plus poussés pour limiter cette augmentation à 1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle (1850-1900).

Au sein de l'Union européenne, l'Accord de Paris se décline en un objectif de réduction des émissions nettes de GES de 55 % en 2030 par rapport à 1990 et un objectif de neutralité carbone en 2050, selon la loi européenne sur le climat. Ces objectifs ambitieux, inscrits dans le droit européen depuis le 30 juin 2021, s'accompagnent d'un ensemble de leviers d'action, le paquet « Fit for 55 » : le système d'échange de quotas d'émissions est progressivement renforcé et étendu, les objectifs nationaux ont été réhaussés³¹, et un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières visant à assurer que la réduction des émissions européennes ne se traduise pas par des hausses d'émissions dans des pays tiers (phénomène dit de « fuites de carbone ») est progressivement mis en place depuis le 1^{er} octobre 2023.

À la suite du rehaussement de l'objectif européen, l'objectif français de réduction brute des émissions de GES est relevé à -50 % en 2030 par rapport à 1990 (émissions brutes hors utilisation des terres et de la foresterie (UTCATF), cf. Tableau 3) et s'élèverait à -55 % en net³². Ces objectifs seront déclinés sectoriellement selon le champ des émissions dans la 3^{ème} Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC 3), dont le projet a été publié dans le cadre de la concertation conduite en novembre et décembre 2024³³. Les émissions couvertes par le système européen de quotas d'émission (SEQE ou ETS en anglais), incluant la production électrique, les grandes entreprises industrielles, et l'aviation au sein de l'espace économique européen, représentant un quart des émissions nettes de la France, doivent diminuer de 62 % en 2030 relativement à 2005 dans l'ensemble de l'UE. Les émissions couvertes par le règlement dit du « partage de l'effort », principalement les transports routiers, les bâtiments, l'agriculture, la construction, et représentant 81 % des émissions nettes, doivent diminuer de 47,5 %, plus rapidement que la moyenne européenne. La captation nette de carbone permise par l'utilisation des terres et de la foresterie (UTCATF) doit atteindre environ 30 Mt CO₂éq par an³⁴ en France d'ici 2030, contre environ 18 Mt CO₂éq en 2022 et 21 Mt CO₂éq en 2022 (soit environ -5 % des émissions nettes).

³¹ La révision du règlement sur la répartition de l'effort fixe des objectifs de réduction des émissions plus ambitieux pour l'agriculture, les déchets, les petites industries et le transport maritime et routier. Ce dernier est également concerné par la fin des ventes de voitures et véhicules utilitaires légers thermiques, avancé de 2040 à 2035.

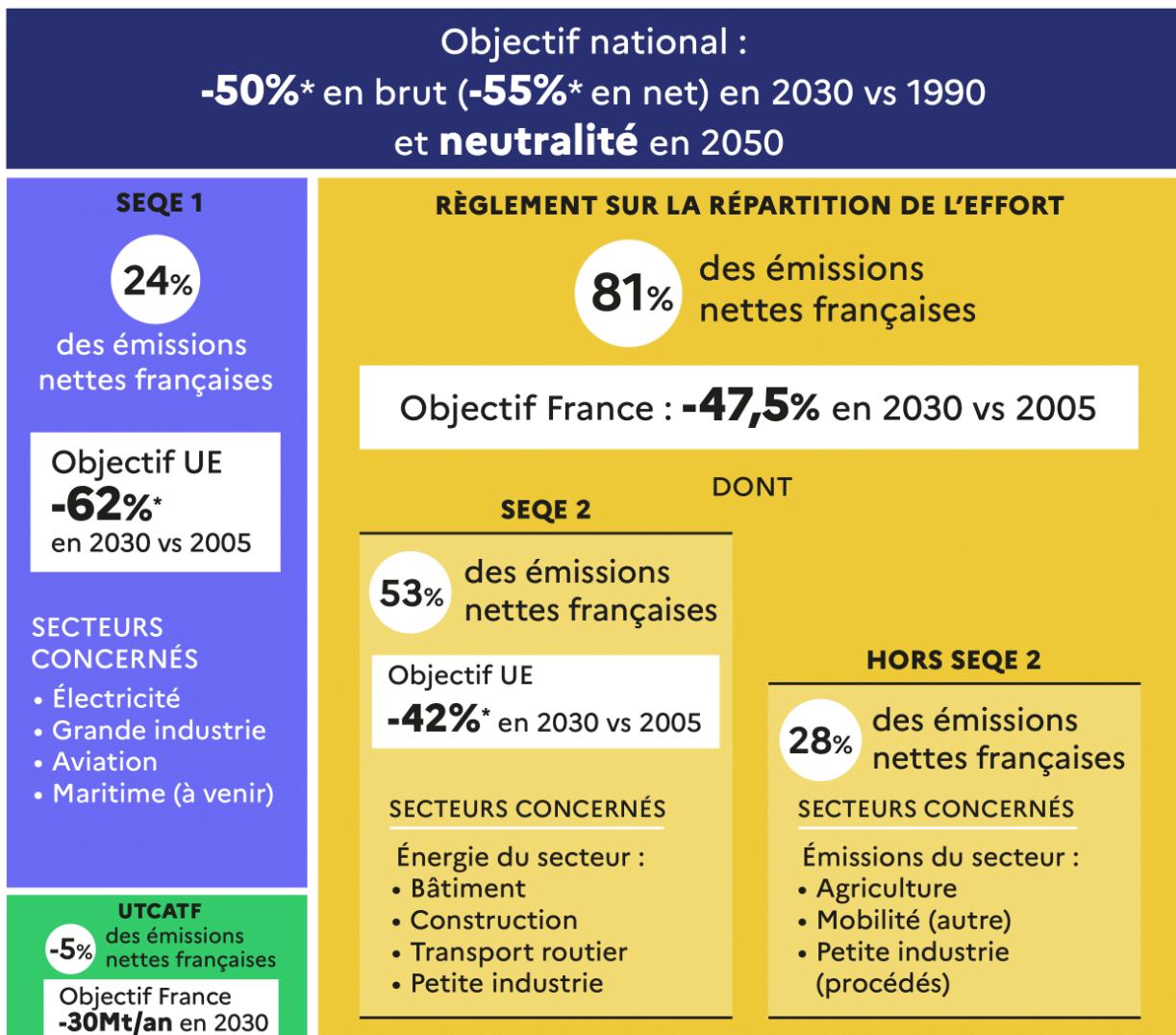
³² Ce relèvement des objectifs a été communiqué à plusieurs reprises (du Président de la République lors du Conseil de planification écologique du 25 septembre 2023, [communiqué](#) de la Première Ministre à la remise 2022 du rapport HCC, etc.), et est affiché dans le projet de SNBC 3 publié dans le cadre de la concertation conduite fin 2024.

³³ [Stratégie nationale bas-carbone et Programmation pluriannuelle de l'énergie : ouverture de la concertation publique | Ministères Aménagement du territoire Transition écologique](#)

³⁴ Cet objectif, provisoire, est calculé selon les estimations récentes des puits de carbone naturels. En toute rigueur, l'objectif UTCATF de la France est de capter 6,7 Mt CO₂éq par an de plus que la valeur de référence 2016-2018 issue de l'inventaire Secten 2030 (disponible en 2032).

TABLEAU 3

Répartition par instrument et secteur des objectifs français de réduction d'émissions nettes de gaz à effet de serre



* Ces objectifs illustratifs reposent sur l'hypothèse que les émissions françaises couvertes par un système européen d'échange de quotas d'émission (SEQE 1 et SEQE 2) évoluent au même rythme que la moyenne de l'UE.

Notes : 1. la surface des cases est proportionnelle à la part de l'instrument dans les émissions nettes françaises. 2. Le périmètre sectoriel de l'ETS présenté ici correspond à la directive européenne 2023/959. 3. Seuls les trajets aériens effectués au sein de l'espace économique européen sont couverts par le SEQE 1. 4. L'objectif d'une captation de 30 Mt CO₂éq par an par les puits de carbone naturels, provisoire, est calculé selon les estimations récentes des puits de carbone naturels.

Au-delà des émissions de GES agrégées, la France a souscrit à d'autres engagements internationaux spécifiques, signés dans le cadre des COP climat ou de l'Union européenne. Deux d'entre eux ont été signés en 2021, lors de la COP26 sur le climat : le Pacte mondial sur le méthane (ou Global Methane Pledge), un accord conjoint visant à réduire les émissions de méthane de 30 % relativement à leur niveau de 2020, toutes sources sectorielles confondues, d'ici à 2030. Le second accord engage la centaine de pays signataires à mettre fin à la déforestation à l'horizon 2030. Les directives élaborées au sein de l'Union européenne comprennent par exemple la directive sur les émissions industrielles ou celle sur les énergies renouvelables³⁵.

La France s'est également donné d'autres objectifs visant à limiter son empreinte sur l'environnement. Afin de lutter contre l'artificialisation des sols, la France s'est dotée d'objectifs quantitatifs ambitieux dans le cadre de la loi Climat et résilience (2021) : diviser par deux la

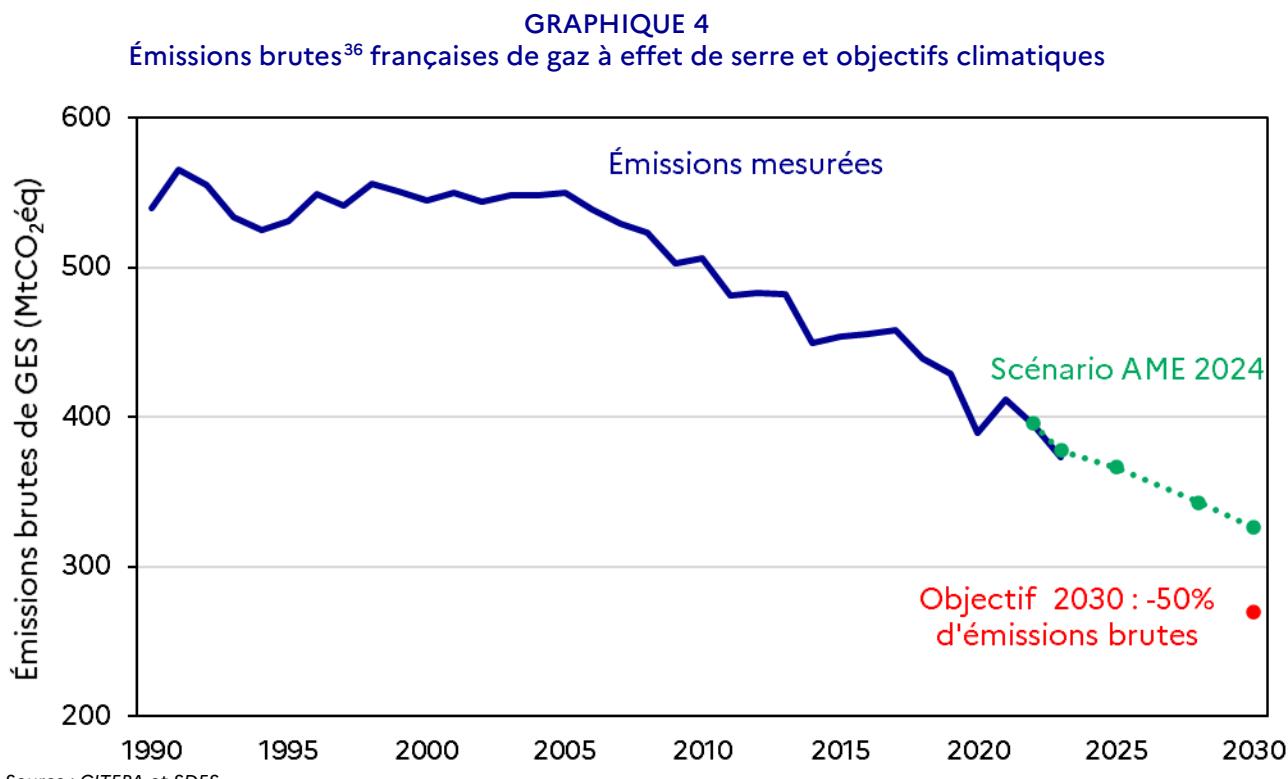
³⁵ Cette directive a été révisée en début d'année 2023 pour imposer un taux de 42,5 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale de l'année 2030.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers d'ici 2030 par rapport à la consommation réelle observée sur les dix années précédentes et atteindre zéro artificialisation nette des sols à l'horizon 2050. En effet, l'artificialisation contribue directement à la destruction de puits de carbone, à la réduction des surfaces agricoles, à l'aggravation des risques de catastrophes naturelles et à l'érosion de la biodiversité. La protection de cette dernière fait d'ailleurs l'objet d'un accord international dit de « Kunming-Montréal », adopté à Montréal en 2022 lors de la COP15 Biodiversité, qui cadre la stratégie mondiale pour la biodiversité sur la période 2020-2030, avec des objectifs à atteindre d'ici 2030 et des grandes orientations à 2050. Cet engagement se concrétise en France via la stratégie nationale biodiversité 2030 (SNB) qui présente la feuille de route pour la période 2022-2030.

1.2.2 Les seules mesures existantes ne permettraient pas d'atteindre les objectifs de réduction d'émissions fixés pour 2030 et 2050

En France, les émissions brutes de GES françaises ont diminué de 14 Mt CO₂éq par an en moyenne entre 2019 et 2023. L'objectif de réduction d'émissions pour 2030 et l'atteinte de la neutralité carbone nécessitent de maintenir ce rythme, et cette dernière est rendue plus difficile par la dégradation des puits de carbone naturels (55 % entre 2013 et 2023).



Note : AME 2024 correspond au scénario d'émissions « avec mesures existantes » du projet de SNBC 3 publié dans le cadre de la concertation fin 2024 ; il intègre toutes les mesures adoptées jusqu'au 31 décembre 2023.

Périmètre géographique : Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE.

³⁶ Les émissions brutes excluent le secteur UTCATF (et notamment les absorptions de gaz à effet de serre des puits de carbone naturels) ainsi que les émissions négatives provenant des technologies de captation et de stockage du carbone (CCS).

1.2.3 Concevoir des politiques de transition socialement acceptables et économiquement soutenables

L'atteinte de la neutralité carbone nécessite une transformation fondamentale de la manière de produire et de consommer, qui devra être orientée et guidée par une mobilisation sans précédent des politiques publiques. C'est la conclusion de la mission conduite par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz³⁷ : la transition vers la neutralité carbone nécessite une forte implication des politiques publiques. Les instruments de politique publique à mobiliser auront notamment pour but de déclencher les investissements nécessaires à la transition vers la neutralité carbone en mobilisant le secteur privé, qui jouera un rôle clé dans l'atteinte des objectifs climatiques.

Toutefois, au-delà du seul respect des engagements climatiques et environnementaux, la transition vers la neutralité carbone s'inscrit au sein d'un ensemble d'objectifs de politiques publiques socio-économiques, dont le respect conditionnera également la faisabilité de la transition. Tout d'abord, la stabilité macroéconomique et financière sera une condition nécessaire à une transition réussie. Dans un contexte de finances publiques contraintes, le partage de l'effort entre les secteurs public et privé en sera un paramètre clé. Il sera guidé par la combinaison d'instruments de politiques publiques mobilisée : les investissements publics directs et les subventions augmenteront l'effort des administrations publiques, là où les normes et taxes (dont une tarification carbone) feraient davantage porter l'effort direct sur le secteur privé (cf. Chapitre 4). La stabilité macroéconomique et financière déclouera également de la mise en place de politiques efficientes et prévisibles, réduisant le surcoût net de la transition. D'autre part, alors même que les ménages les plus modestes sont spontanément plus affectés par la transition (cf. Chapitre 6)³⁸, celle-ci ne sera effective que si elle est acceptable socialement. En effet, leurs dépenses, notamment énergétiques, représentent une part plus importante de leurs revenus et les contraintes financières auxquelles ils font face limitent leur marge de manœuvre. Enfin, l'importance des objectifs de sobriété énergétique est renforcée par les tensions sur le bouclage et la sécurité d'approvisionnement en énergie.

1.3 Réussir la transition à moindres coûts

1.3.1 Donner un prix au carbone permet de décarboner à moindre coût

L'activation des leviers de décarbonation pour atteindre la neutralité carbone nécessite la mise en place d'instruments de politique publique de décarbonation. L'atteinte de la neutralité carbone nécessite une forte intervention publique ; elle ne pourra se faire uniquement via le progrès technique spontané (cf. Chapitre 2). Plusieurs instruments de décarbonation peuvent être mis en place. Deux catégories d'instruments sont distinguées³⁹ : les instruments fondés sur le marché, et les autres instruments. Les instruments fondés sur le marché comprennent la tarification du carbone (e.g. en France, la « composante carbone » de l'accise sur les énergies, i.e. les anciennes taxes intérieures de consommation, ou au niveau de l'UE, le marché du carbone européen, cf. Encadré 2), les subventions à l'adoption de technologies bas-carbone (e.g. MaPrimeRénov), ou encore les systèmes de bonus-malus (e.g. bonus-malus automobile). Les instruments réglementaires comprennent notamment les normes de performance énergétique et environnementale (e.g. RE2020 pour les bâtiments) et les normes d'émissions de CO₂ pour les véhicules, ou encore des mesures interdisant certaines actions (e.g. installation d'une nouvelle chaudière au fioul, location de logement très peu efficaces énergétiquement). D'autres instruments sont de diverses natures : instruments informationnels (e.g. diagnostic de

³⁷ Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2023) « Les incidences économiques de l'action pour le climat », rapport France Stratégie.

³⁸ Douenne, T. (2020) « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », The Energy Journal.

³⁹ Trinh et al. (2023) rapport thématique « [Modélisation](#) » rattaché à la mission France Stratégie « Les incidences économiques de l'action pour le climat » pilotée par J. Pisani-Ferry et S. Mahfouz.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

performance énergétique, étiquetage énergétique), développement d'infrastructures, commande publique, instruments de crédit et de garantie, etc.

Ces instruments peuvent être évalués selon différents critères, dont l'efficacité environnementale, l'efficience économique, et les effets distributifs. L'efficacité environnementale consiste à associer à un instrument ou une combinaison d'instruments une réduction quantifiée d'émissions de GES. L'efficience économique implique de mesurer les coûts et bénéfices économiques associés aux instruments considérés, que l'on peut ensuite mettre en regard de l'efficacité environnementale (coût-efficacité). L'analyse des effets distributifs s'intéresse à la manière dont ces différents coûts et bénéfices sont répartis dans la société. D'autres critères d'évaluation sont également utiles pour apprécier le bien-fondé d'une combinaison d'instruments : les co-bénéfices et antagonismes associés, les prérequis institutionnels nécessaires à la bonne mise en œuvre des instruments (e.g. capacité de conception, de suivi, de contrôle et d'évaluation d'une mesure), et le potentiel de la combinaison d'instruments considérés à induire des transformations profondes des modes de consommation et de production, dans un contexte où l'atteinte de la neutralité carbone nécessite des changements structurels majeurs de l'économie. À cet égard, il convient d'être attentifs aux risques de verrouillage technologique (*lock-in* en anglais). Une grille d'analyse de ces multiples critères est proposée en Encadré 5.

Donner un prix au carbone réduit les émissions de gaz à effet serre à court terme, et plus encore à long terme. La tarification du carbone, via la mise en place d'une fiscalité s'appuyant sur le contenu carbone d'un produit ou un marché du carbone (cf. Encadré 2) renchérit le coût d'une action émettrice de gaz à effet de serre. Ce renchérissement a des effets de court et long terme sur l'offre et la demande en biens et services carbonés et bas-carbone. À court terme, la tarification carbone réduit la demande en biens et services carbonés, au bénéfice des biens et services moins émetteurs en gaz à effet de serre (e.g. réduire sa consommation de carburant via l'éco-conduite). À long terme, elle conduit les ménages, les entreprises et les entités publiques à réaliser des investissements (incluant les efforts de recherche et développement, cf. *infra*) et à changer leurs comportements, pour changer structurellement l'offre et la demande en biens et services carbonés et bas-carbone (e.g. développer des véhicules électriques sobres et légers).

ENCADRÉ 2

Taxe carbone ou quotas d'émissions échangeables : deux formes de tarification carbone

Le prix du carbone permet d'internaliser au moins une partie des coûts des externalités des émissions de gaz à effet de serre dans les prix de marché des biens et services. Il envoie une incitation aux acteurs économiques afin d'orienter leurs comportements de production et de consommation vers les alternatives moins carbonées, et notamment déclencher les investissements nécessaires à la décarbonation.

Il existe deux principales formes de tarification du carbone, dont les deux sont en vigueur en France :

- Approche par les prix : taxe carbone, accise sur l'énergie, etc. En France, une « composante carbone », intégrée à l'accise sur les énergies, s'applique aux énergies fossiles, c'est-à-dire 40 % des émissions françaises liées à la combustion, et s'élève à 44,6 € par tonne de CO₂éq depuis 2018. L'appellation de « composante carbone » fait référence dans le présent document pour alléger la rédaction aux « hausses de la composante carbone », intervenues entre 2014 et 2018, et restées stables entre 2018 et 2021, à 44,6 €/tCO₂, au sein de l'accise sur les énergies

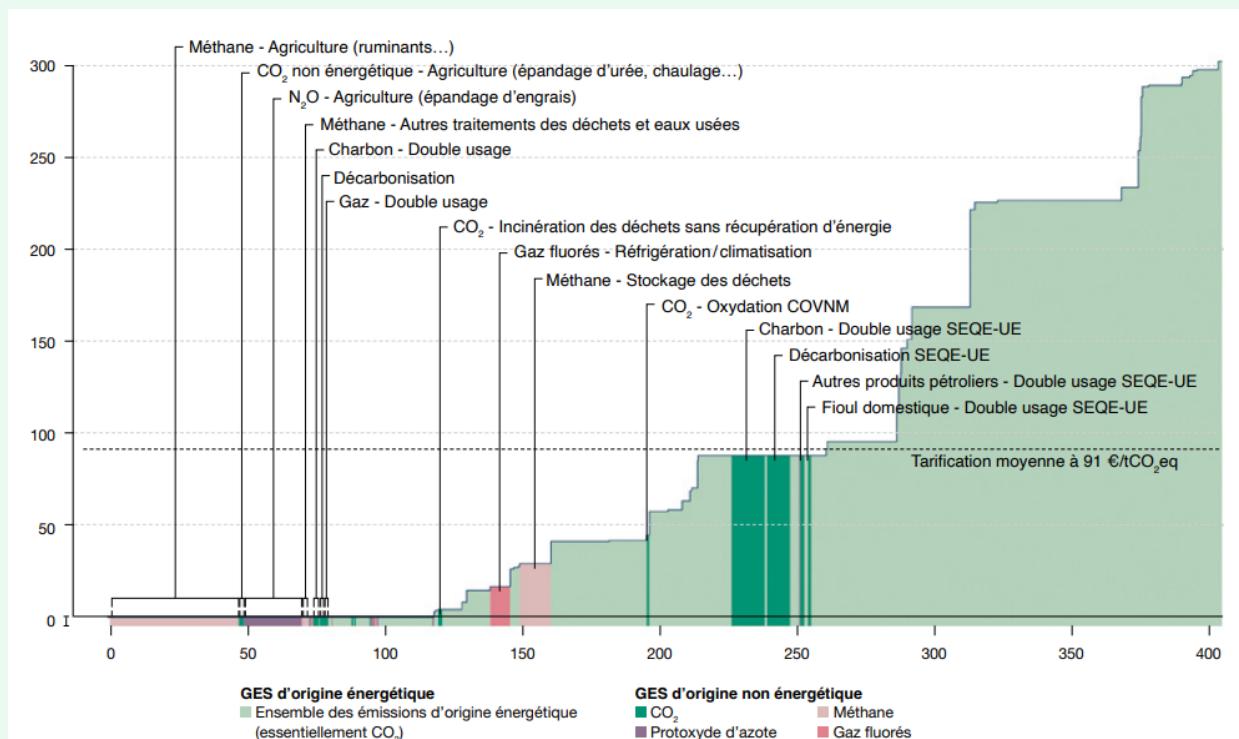
Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

(anciennement taxes intérieures de consommation sur les produits énergétiques – TICPE – et sur le gaz naturel – TICGN).

- Approche par les quantités : reposant sur un marché sur lequel s'achètent et se revendent des quotas d'émission. Si une entité émet moins de gaz à effet de serre que son quota ne le prévoit, elle est autorisée à vendre la différence sur le marché à une autre entité le dépassant. Ce système d'échange de quotas d'émissions (SEQE ou ETS en anglais) ainsi créé définit un prix au carbone, implicitement dépendant de la quantité de quotas prédéterminée. Créé en 2005, le marché des quotas d'émission européen couvrait en 2023 18 % des émissions françaises brutes de GES (émissions provenant des secteurs de l'énergie, de l'industrie et du transport aérien), à un prix moyen de 88 €/t CO₂éq.

Ces deux approches de tarification du carbone, par les prix et par les quantités, sont équivalentes en théorie dans une situation d'information parfaite⁴⁰. Ce n'est pas le cas en pratique, en raison notamment des incertitudes sur les coûts d'abattement des différents acteurs économiques⁴¹. La prévisibilité du signal prix est supérieure dans l'approche par les prix, conditionnellement à la crédibilité de la trajectoire, mais l'atteinte d'un objectif de réduction d'émissions nécessite une calibration très précise de l'instrument. L'approche par les quantités permet d'atteindre avec certitude une réduction d'émissions prédéterminée, au détriment de la prévisibilité du signal-prix.

GRAPHIQUE 5
Tarification effective du carbone en France selon les instruments, pour l'année 2023



Source : CGDD, modèle Elfe version 3, septembre 2024.

L'estimation de la tarification effective permet une représentation globale des incitations induites par ces instruments. La tarification effective doit être distinguée de la tarification explicite, qui ne couvre que la composante carbone et les systèmes de quotas d'émissions. En 2023, en France, le niveau moyen de

⁴⁰ Weitzman (2003), « Price vs. Quantities », The Theory and Practice of Command and Control in Environmental Policy.

⁴¹ Parry I., Black S. et Zhunussova K. (2022) « Carbon Taxes or Emissions Trading Systems? Instrument Choice and Design ».

tarification effective du carbone des émissions s'élevait à 91 €/tCO₂⁴² (cf. Graphique 5). L'indicateur de la tarification effective doit être replacé dans le contexte des externalités du secteur qui ne sont pas uniquement climatiques. Les quantités physiques sur lesquelles elle s'appuie, comme les carburants, peuvent être associées à d'autres externalités en sus des émissions de GES, comme la pollution locale de l'air ou encore l'usure de la route. Dès lors, une tarification effective du carbone relativement élevée n'implique pas nécessairement une couverture suffisante de l'ensemble des externalités présentes, et ne peut être rattachée à la seule externalité climatique.

Mettre en place un prix du carbone incite à déclencher les actions de décarbonation les plus coût-efficaces. La tarification carbone est l'instrument de décarbonation généralement considéré comme le plus coût-efficace par les économistes. Les économistes Olivier Blanchard, Christian Gollier, et Jean Tirole l'ont récemment rappelé⁴³. C'est également l'analyse des organisations internationales telles que le Fonds Monétaire International⁴⁴ ou l'Organisation pour la Coopération et le Développement Économique⁴⁵. Plusieurs propriétés en font l'instrument le plus coût-efficace. Les actions de décarbonation ont des coûts d'abattement hétérogènes (cf. Encadré 5). Dans un contexte d'information imparfaite, donner un prix au carbone incite les différents acteurs économiques à déclencher toutes les actions de décarbonation qui ont un coût privé inférieur au prix du carbone, sans avoir besoin de connaître les coûts privés des différents acteurs. À l'inverse, cibler les mesures les plus coût-efficaces au travers de subventions et de mesures réglementaires nécessite une connaissance fine des coûts d'abattement des différents acteurs économiques, dont la puissance publique ne dispose pas forcément en pratique. En l'absence d'autres défaillances de marché que l'externalité climatique, la taxe carbone permet de maximiser la réduction des émissions par euro dépensé pour les agents privés, par rapport aux autres instruments de politique publique. En outre, l'hétérogénéité dans la tarification du carbone entre différents secteurs ou sources d'émissions peut être source d'inefficacité, dans la mesure où la même quantité d'émissions pourrait être réduite à moindre coût avec une tarification uniforme.

Donner un prix au carbone encourage l'innovation bas-carbone. Le prix du carbone a en effet non seulement un effet statique, mais aussi dynamique, si la trajectoire de prix fixée par les pouvoirs publics ou déterminée par le marché est suffisamment crédible pour ancrer les anticipations des acteurs économiques, et en particulier des entreprises qui ont des activités de recherche et développement (R&D). Une trajectoire de prix du carbone future incite ainsi à investir dans l'innovation bas-carbone, ce qui réduit les coûts futurs de décarbonation⁴⁶. Empiriquement, selon une récente étude, une hausse de 10 % du prix du pétrole se traduit par une augmentation de 10 % des dépôts de brevets verts et une diminution de 8 % des brevets bruns⁴⁷. Les quotas du marché carbone européen ont également encouragé l'innovation bas-carbone au sein des entreprises concernées⁴⁸. L'innovation fait par ailleurs l'objet de défaillances de marché (cf. Section 8.3) qui justifient la mise en œuvre d'instruments complémentaires à la tarification du carbone afin de renforcer les incitations à l'innovation bas-carbone.

⁴² CGDD (2024), « [La tarification effective du carbone en France en 2023](#) », Thema.

⁴³ Blanchard, Olivier, Christian Gollier, et Jean Tirole (2023) "[The portfolio of economic policies needed to fight climate change](#)" Annual Review of Economics.

⁴⁴ FMI (2023), « [Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World](#) », Fiscal Monitor.

⁴⁵ D'Arcangelo F., M. Pisu, A. Raj et K. van Dender (2022) « [Estimating the CO₂ emission and revenue effects of carbon pricing](#) », Document de Travail de l'OCDE ; OCDE (2023) "[OECD Economic Surveys: European Union and Euro Area 2023](#)".

⁴⁶ Van den Bergh J. et Ivan S. (2021) "[Impact of carbon pricing on low-carbon innovation and deep decarbonisation: controversies and path forward](#)", Environmental and Resource Economics.

⁴⁷ Aghion, Dechezleprêtre, Hémous, Martin, Van Reenen (2016) "[Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry](#)", Journal of Political Economy.

⁴⁸ Calel R. et Dechezleprêtre A. (2016), "[Environmental policy and directed technological change: evidence from the European carbon market](#)", The Review of Economics and Statistics.

Les évaluations empiriques ex post mesurent comment les comportements, la consommation d'énergie et les émissions, s'ajustent à court et long terme aux variations de prix de l'énergie. En comparaison internationale, sans que cela ne constitue directement une causalité, les pays qui ont les niveaux de tarification effective sur le carbone les plus élevés sont ceux dont l'intensité carbone du PIB est la plus faible (cf. Graphique 6). L'effet causal de la mise en place d'instruments prix tels que la taxe carbone est de plus établi dans de nombreux travaux empiriques⁴⁹. En effet, les ménages et les entreprises diminuent leur consommation face à des hausses de prix de l'énergie, à court et long terme. D'après une méta-analyse de 2017⁵⁰, une augmentation de 10 % du prix de l'énergie conduit à une réduction de 2 % de la consommation d'énergie à court terme, et de 5 à 6 % à long terme. Une étude récente sur la consommation de carburant par les ménages français corrobore l'ordre de grandeur de court terme⁵¹. Ces relations historiques ne prennent toutefois pas en compte l'évolution technologique future et les politiques mises en place. Par ailleurs, la réaction des ménages aux variations de prix serait plus importante suite à la mise en place d'une taxe que de fluctuations de marché⁵².

ENCADRÉ 3

La couverture et le niveau de tarification effective nette des émissions sont plus élevés en France que dans le reste de l'OCDE

La couverture des émissions de gaz à effet de serre par une forme de tarification est hétérogène dans le monde (cf. Graphique 6), d'après les estimations de l'OCDE⁵³. En prenant en compte les quotas carbone, les taxes carbone, et l'accise sur les énergies nette des subventions aux énergies fossiles, l'OCDE estime qu'en 2021, 71 % des émissions en France étaient couvertes par une tarification effective nette positive, pour un niveau moyen au total de 83 €/tCO₂éq. Ce niveau est supérieur à la moyenne des pays de l'OCDE, dans lesquels 53 % des émissions sont couvertes, pour un niveau de tarification moyen de 34 €/tCO₂éq. Au sein des 71 pays couverts par l'analyse de l'OCDE, qui représentent environ 80 % des émissions de gaz à effet de serre mondiales, la tarification effective nette moyenne est estimée à 17 €/tCO₂éq, et 41 % des émissions de gaz à effet de serre sont soumises à une tarification effective nette positive.⁵⁴ La tarification effective se distingue de la tarification explicite sur le carbone qui ne prend en compte que les taxes sur les émissions et les systèmes de quotas, en excluant la tarification implicite (accise sur les énergies, subventions aux énergies fossiles). La couverture des émissions de serre à effet de serre mondiales par une tarification explicite est estimée par la Banque Mondiale à 24 % en 2024⁵⁵.

Le niveau de tarification est positivement corrélé à une plus faible intensité carbone du PIB (cf. Graphique 7).

⁴⁹ Cf. par exemple le cas de la Suède : Andersson (2019) "Carbon Taxes and CO₂ Emissions: Sweden as a Case Study" American Economic Journal; ou pour le système européen de quota d'émissions : [Dechezleprétre A., D. Nachrigall, F. Venmans \(2023\) "The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance"](#), Journal of Environmental Economics and Management.

⁵⁰ Labandeira, X., Labeaga, J. M., et López-Otero, X. (2017). "A meta-analysis on the price elasticity of energy demand" Energy policy.

⁵¹ Bonnet O., Loisel T., Wilner L., Fize E. (2023) « [Comment les automobilistes ajustent leur consommation de carburant aux variations de prix à court terme](#) » Insee Analyses.

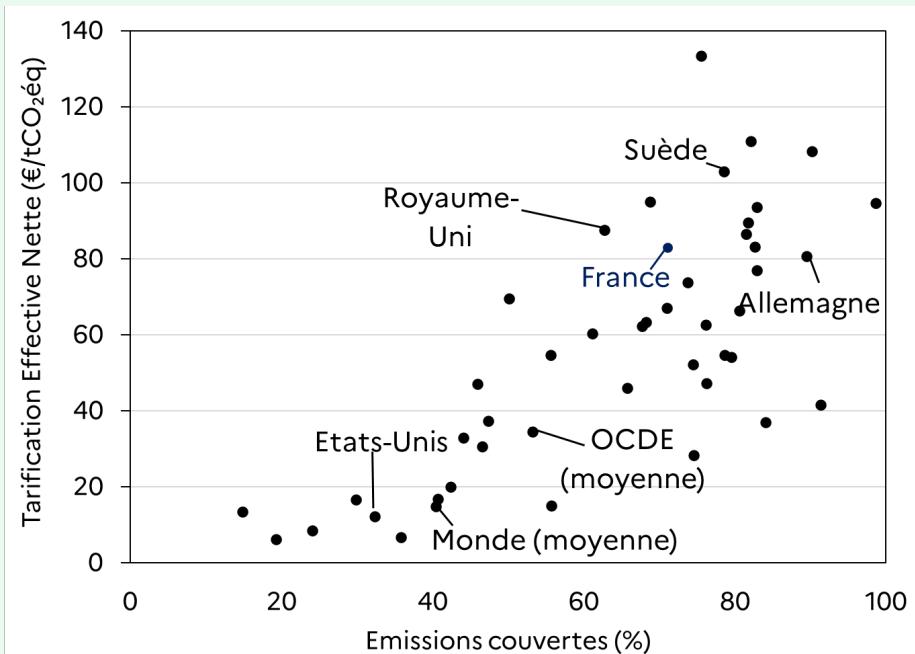
⁵² Cf. Revue de littérature présentée dans le [rapport intermédiaire \(2023\)](#) p119.

⁵³ OCDE (2022), « Pricing Greenhouse Gas Emissions ».

⁵⁴ Le rapport de l'OCDE couvre 71 pays représentant 80 % des émissions de CO₂.

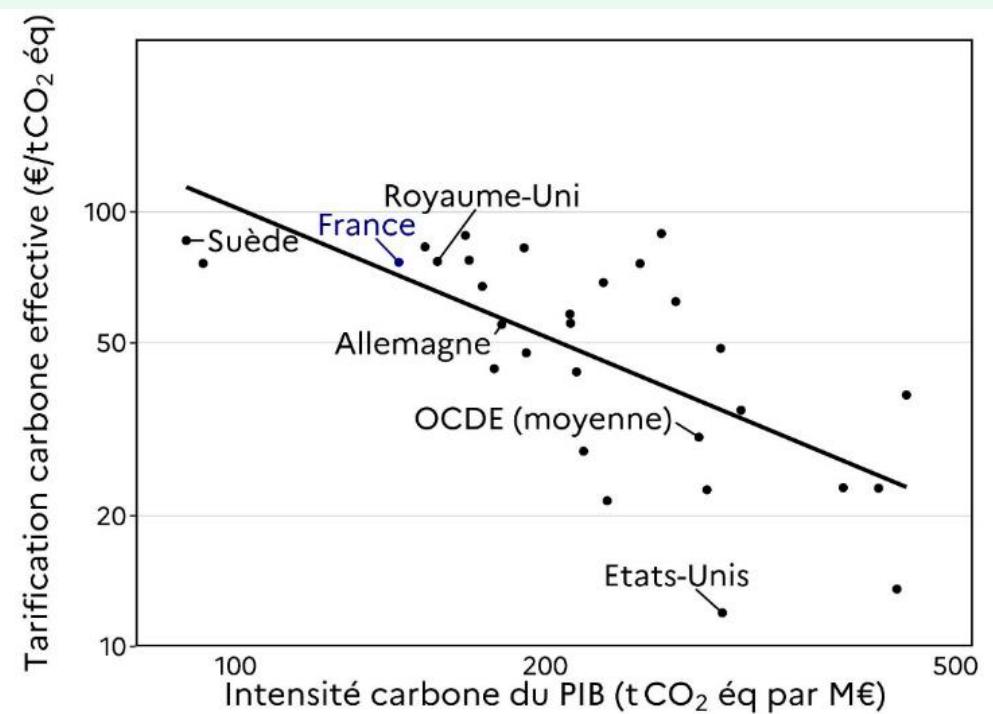
⁵⁵ Banque Mondiale (2024), [State and Trends of carbon pricing](#).

GRAPHIQUE 6
Tarification carbone effective nette dans les pays des l'OCDE, 2021



Source : OCDE.

GRAPHIQUE 7
Tarification carbone effective et intensité carbone du PIB, 2018



Sources : OCDE et OurWorldInData. Champ : pays de l'OCDE dont la tarification carbone nette est positive.

Note : Les axes sont présentés selon une échelle logarithmique.

1.3.2 L'existence d'autres défaillances de marché faisant obstacle à la décarbonation justifie la mise en œuvre d'instruments complémentaires au prix du carbone

1.3.2.1 *Défaillances de marché et instruments complémentaires à la tarification du carbone*

L'existence de défaillances de marché en sus de l'externalité climatique justifie la mise en place d'instruments complémentaires au prix du carbone. En présence de défaillances de marché supplémentaires, donner un prix au carbone ne suffit pas à s'assurer que l'ensemble des actions de décarbonation ayant un bilan socio-économique positif soit mis en œuvre. C'est le cas par exemple dans le secteur du logement, où de nombreuses asymétries d'information peuvent conduire à un sous-investissement dans la rénovation énergétique (cf. Chapitre 13). Le diagnostic de performance énergétique (DPE) est un exemple d'instrument informationnel complémentaire à la tarification du carbone : en informant sur les performances énergétiques et climatiques d'un bien en vente ou en location, il peut renforcer les incitations à investir dans la rénovation énergétique⁵⁶. Le besoin de standardisation de certaines infrastructures, comme la recharge de voitures électriques, peut aussi justifier une intervention publique afin d'éviter les inefficiences liées à un défaut de coordination⁵⁷. L'innovation bas-carbone et les fuites de carbone constituent deux cas importants où des défaillances de marché justifient une action complémentaire.

Pour assurer un bon niveau d'innovation bas-carbone, la tarification du carbone peut nécessiter d'être complétée par un soutien public additionnel. En plus d'un défaut de valorisation en cas d'absence de prix du carbone, l'innovation bas-carbone doit surmonter au moins quatre défis additionnels : les externalités de connaissance, la dépendance au sentier, un horizon temporel parfois long⁵⁸, avec un niveau de risque qui peut être élevé et difficilement supportable pour des acteurs privés, et un besoin de coordination dans un contexte d'urgence climatique. Premièrement, l'innovation génère nombre de retombées positives pour différents acteurs sans que ceux-ci n'aient toujours contribué à financer l'effort de R&D. Deuxièmement, parce qu'historiquement l'effort de R&D s'est porté sur les technologies carbonées dans une logique d'efficience et de rentabilité, il peut être moins coûteux pour une entreprise, au moins à court terme, de poursuivre dans ce champ-là, plutôt que de réorienter son effort de R&D dans des technologies bas-carbone qui pourraient par ailleurs cannibaliser son activité historique. Troisièmement, si l'expérience de l'industrie pharmaceutique montre que le secteur privé est capable d'investir en R&D sur le temps long, avec un temps de retour sur investissement important, elle s'appuie largement sur le secteur public pour la recherche fondamentale, étape aux résultats particulièrement incertains, mais pourtant indispensable aux développements de technologies de rupture, qui pourraient contribuer à l'atteinte de la neutralité carbone, mais étape particulièrement risquée. De plus, la trajectoire future de prix du carbone est un paramètre clef du rendement des innovations bas-carbone à long terme, ce qui peut réduire les incitations à innover si celle-ci est perçue comme incertaine. Enfin, loin d'être une activité isolée, l'innovation technologique s'épanouit au sein d'écosystèmes, dont la mise en place bénéficie de l'appui des pouvoirs publics afin de coordonner les différents acteurs. Ces différentes raisons justifient la mise en place d'un soutien plus poussé à l'innovation bas-carbone, en complément de la tarification du carbone. Plusieurs dispositifs de soutien à l'innovation bas carbone existent en France et dans l'Union Européenne (cf. Section 8.3).

Autre instrument complémentaire au prix du carbone, le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) de l'UE doit permettre de réduire le risque de fuites de carbone. Une divergence de tarification du carbone entre pays fait peser le risque de fuites de carbone

⁵⁶ Fleckinger P., Glachant M., et Kamga P. H. T. (2019) "Energy performance certificates and investments in building energy efficiency: a theoretical analysis", *Energy Economics*.

⁵⁷ L'Union européenne impose aux stations de recharge pour véhicules électriques des standards particuliers suivant la directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs

⁵⁸ Blanchard, O., Gollier, C., et Tirole, J. (2023) "The portfolio of economic policies needed to fight climate change", *Annual Review of Economics*.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

(cf. Chapitre 3), qui nuisent à l'efficacité des politiques climatiques domestiques⁵⁹, car l'impact des émissions sur le climat ne dépend pas de l'endroit où elles sont émises. Afin de surmonter ce problème et d'assurer l'efficacité de ses politiques climatiques dans un contexte de renforcement de son ambition pour 2030, l'Union européenne a mis en place un MACF (cf. Encadré 4). Le MACF constituera par ailleurs une incitation indirecte pour des pays exportant des biens dans l'UE à mettre en place un prix du carbone, d'une part afin de contrôler les recettes issues de la tarification du carbone et, d'autre part, car le MACF prendra en compte le prix du carbone effectivement déjà payé dans les pays tiers.

ENCADRÉ 4

Le renforcement de l'ETS-1 et le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières⁶⁰

Dans le cadre du paquet « Fit for 55 », l'UE renforce plusieurs dimensions de l'EU ETS, instrument central de la politique climatique européenne. L'EU ETS prévoit depuis 2005 un plafond décroissant d'émissions de GES pour les secteurs de l'industrie, de la production d'électricité, et du transport aérien intra européen. En lien avec la hausse de l'ambition de réduction des émissions de l'UE pour 2030, l'EU ETS a été renforcé dans le cadre du paquet « Fit for 55 » : le rythme de baisse annuel du plafond est augmenté de sorte à atteindre une baisse des émissions de 62 % en 2030 comparée à 2005 (contre 43 % prévus précédemment) ; les quotas gratuits seront progressivement supprimés pour les secteurs concernés par le MACF et pour le secteur aérien ; la réserve de stabilité qui absorbe le surplus de quotas sera renforcée ; et enfin, les émissions du transport maritime (européen et international) et du transport aérien européen seront couvertes.

En lien avec le renforcement des politiques climatiques européennes, un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) est mis en place. Le MACF est un mécanisme qui réplique la tarification carbone de l'EU ETS sur les importations de produits intensifs en émissions. Il couvre dans un premier temps un périmètre de biens homogènes issus des secteurs de l'acier, de l'aluminium, du ciment, des fertilisants, l'électricité et l'hydrogène. Le MACF est en place depuis le 1^{er} octobre 2023, d'abord dans une phase transitoire « à blanc » (2023-2025), puis l'ajustement financier sur les importations augmentera progressivement en parallèle de la suppression des quotas gratuits de l'ETS pour les secteurs concernés, qui s'étalera sur 9 ans (2026-2034).

1.3.2.2 *Insuffisance du prix du carbone et instruments complémentaires*

De manière complémentaire au prix du carbone, d'autres instruments peuvent être mis en place pour réduire les émissions, comme des subventions ou des réglementations, avec une attention particulière à porter aux effets économiques induits. Si la majorité des émissions de GES en France sont soumises à une tarification du carbone, une partie des émissions ne le sont pas, qu'elles soient positives ou négatives. C'est notamment le cas des émissions de méthane ou de protoxyde d'azote de l'agriculture, ou encore des émissions négatives des puits de carbone naturels. L'absence de tarification du carbone peut s'expliquer par des contraintes socio-économiques, politiques, ou encore techniques⁶¹. En outre, la tarification du carbone est

⁵⁹ L'Heudé, W., Chailloux M. et X. Jardi (2021) « Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne », Trésor-Éco n°280, Direction Générale du Trésor.

⁶⁰ L'Heudé, W., Chailloux M. et X. Jardi (2021) « Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne », Trésor-Éco n°280, Direction Générale du Trésor.

⁶¹ Les émissions de GES non énergétiques sont en effet plus délicates à mesurer et contrôler que celles issues de l'usage des énergies fossiles.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

aujourd’hui trop faible pour permettre seule l’atteinte des objectifs climatiques.⁶² La trajectoire précise du signal-prix du carbone qui serait nécessaire, en l’absence de mesures supplémentaires, à l’atteinte des objectifs climatiques de la SNBC 3 n’est pas connue avec précision et dépend des autres instruments mobilisés, mais les analyses convergent vers une trajectoire fortement ascendante. Par exemple, l’évaluation macroéconomique de la SNBC 2 avec le modèle ThreeMe estime qu’un signal-prix équivalent à 200 €/tCO₂ en 2030 serait nécessaire, en plus des mesures existantes, pour atteindre les objectifs climatiques précédents.⁶³ Plus largement, la Valeur de l’Action pour le Climat, qui sert de référence pour l’évaluation des politiques publiques, augmente de 87 €/tCO₂ en 2020 à 250 €/tCO₂ en 2030.⁶⁴ Toutefois, même si une trajectoire de prix du carbone plus ambitieuse était établie, elle pourrait souffrir d’un défaut de crédibilité, le risque existant que son montant soit revu à la baisse dans le futur face à des problèmes d’acceptabilité. Afin de compenser l’absence ou l’insuffisance du prix du carbone, des instruments complémentaires sont mis en place ou envisagés, tels que les subventions (e.g. MaPrimeRénov', le bonus automobile) ou des réglementations (e.g. interdiction de location des logements peu efficaces énergétiquement, interdiction de vente de véhicules à moteur thermique). Ces instruments alternatifs peuvent aussi contribuer à renforcer la crédibilité de la trajectoire de prix du carbone, par exemple en contrignant les acteurs à déclencher des investissements bas-carbone cohérents avec une augmentation future des prix du carbone et en accompagnant ceux pour lesquels les contraintes financières sont un obstacle au changement de comportement.

Le recours à une combinaison d’instruments nécessite une analyse fine des interactions entre eux afin de maximiser les synergies, l’additivité des effets des différentes mesures considérées de manière isolée n’étant pas assurée. Il s’agit d’assurer la cohérence à la fois entre différents instruments et entre différentes échelles de mise en œuvre de l’action publique, en particulier l’articulation entre les politiques nationales et les politiques mises en place à l’échelle européenne. Dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place pour la décarbonation d’un même secteur (tarification carbone, subvention des activités peu émissives, réglementation des activités émissives), l’effet déclencheur propre à une mesure sera plus délicat à estimer, tout comme l’impact d’une mesure supplémentaire. Des synergies positives ou négatives pourraient ainsi apparaître⁶⁵. Par exemple, dans le secteur des transports, le bonus-malus et la tarification carbone se complètent pour encourager l’achat d’un véhicule électrique plutôt que d’un véhicule thermique, le premier instrument jouant sur le prix d’achat, le second sur le coût d’utilisation. À l’inverse, en présence d’un système de quotas sur le volume d’émissions, des mesures supplémentaires ont un effet nul sur les émissions (puisque elles sont fixées dans le système de quotas) mais elles peuvent affecter la manière dont ce niveau d’émission est atteint (e.g. soit en décarbonant la production, soit en la réduisant si la décarbonation est trop coûteuse)⁶⁶.

⁶² Cf. par exemple les scénarios AME (avec mesures existantes) de la SNBC 2, qui incluent la tarification du carbone actée à date, ainsi que des mesures additionnelles, et qui ne permettent pas d’atteindre les objectifs que la France s’est fixés en l’absence de mesures supplémentaires (scénarios AMS).

⁶³ Ademe et CGDD (2022), « [Évaluation macroéconomique de la Stratégie nationale bas-carbone \(SNBC 2\) avec le modèle ThreeMe](#) », Document de travail.

⁶⁴ Alain Quinet et al. (2023) « [La valeur de l’action pour le climat](#) », Rapport France Stratégie. Les valeurs citées sont en €2018 ; elles ne tiennent donc pas compte de l’inflation passée et future. La trajectoire est basée sur l’atteinte d’une réduction des émissions de -40 % en 2030 par rapport à 1990, inférieur à l’objectif actuel de -50 %.

⁶⁵ Cf. par exemple Van den Bergh, J. C. J. M., Castro, J., Drews, S., Exadaktylos, F., Foramitti, J., Klein, F., et Savin, I. (2021) “Designing an effective climate-policy mix: accounting for instrument synergy” Climate Policy.

⁶⁶ En pratique, dans le cadre du SEQE, la réserve de stabilité sur le marché permet d’absorber une partie du surplus de quotas généré par des politiques complémentaires.

ENCADRÉ 5

Le référentiel ABCDE des coûts d'abattement et exemple d'application à la rénovation énergétique

Le tableau ci-dessous propose un nouveau référentiel – dit ABCDE – pour analyser les dépenses publiques en faveur de la transition écologique. Il s'agit d'une grille d'analyse intégrant les coûts d'abattement et des indicateurs complémentaires à la fois quantitatifs (e.g. potentiel d'abattement, effet déclencheur, bouclage, partage public/privé des surcoûts financiers) et qualitatifs (e.g. défaillances de marché, cohérence des mesures, autres effets indirects) qui sont importants à considérer pour évaluer la pertinence et le bon paramétrage d'une dépense en faveur de la transition.

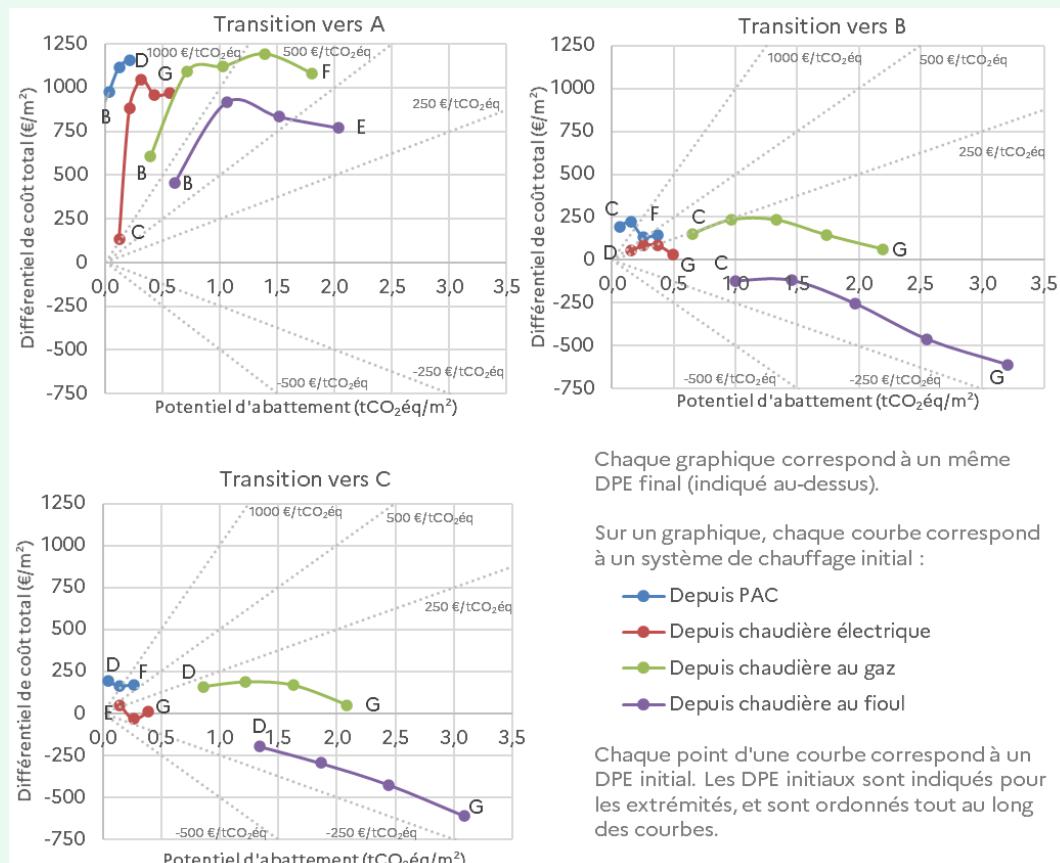
TABLEAU 4
Principe du référentiel ABCDE

Critère	Principe	Exemple illustratif des effets à considérer pour une hypothétique subvention de soutien à la conversion de chaudières au fioul en pompes à chaleur (PAC)
Abattement	Quel sont les coûts d'abattement et le potentiel d'abattement du geste encouragé par le dispositif ?	Coût d'abattement financier : Différentiel de coût, soit CAPEX (investissement initial dans la PAC) + OPEX (différentiel de facture énergétique, différentiel de coûts de maintenance) Potentiel d'abattement : différence entre les émissions induites par le chauffage au fioul et par l'électricité de la PAC, y compris effet rebond, en inventaire ou empreinte
Bouclages	Le dispositif accroît-il l'usage de ressources limitées et essentielles à la transition ?	Bouclage physique : tension supplémentaire sur la production d'électricité, notamment lors des pics de consommation en hiver
Cohérence	Le dispositif est-il cohérent avec la stratégie de décarbonation ?	D'autres mesures existantes ou planifiées incitent déjà à l'installation d'une PAC (e.g. MaPrimeRénov', les CEE, l'interdiction de location de logements peu efficaces énergétiquement, la composante carbone) tandis que l'installation de nouvelle chaudière au fioul est interdite
Déclenchement	Le dispositif permettra-t-il effectivement de déclencher les gestes attendus ?	Du fait du niveau et de la volatilité des prix du fioul, les ménages qui le peuvent pourraient choisir spontanément d'investir dans une PAC. Pour éviter un effet d'aubaine , le dispositif pourrait être ciblé en priorité sur les ménages plus modestes pour lesquels l' additivité de la dépense publique associée pourrait être meilleure, s'ils sont davantage sujets à des défaillances de marché non-climatiques .
Effets indirects	Quels sont les autres effets induits et sont-ils désirables ?	Risque de verrouillage technologique (lock-in) : peut désinciter un raccordement ultérieur à un réseau de chaleur urbain dans certaines zones denses. Autres effets indirects socio-économiques : lutte contre la précarité énergétique, diminution des pollutions locales, confort d'été, amélioration de la balance commerciale dans le cas de PAC produites en France.

Le graphique ci-dessous illustre le fait que les coûts d'abattement des gestes peuvent donner une indication sur leur efficience, mais ne suffisent pas à les hiérarchiser. Il montre ainsi, à DPE final donné, comment le potentiel d'abattement et le surcoût total évoluent selon le DPE et le système de chauffage initiaux : de manière générale, ils sont tous deux plus élevés lorsque le DPE final est plus performant. En moyenne, les coûts d'abattement associés à une transition depuis un DPE G vers un DPE B (isolation + conversion vers une pompe à chaleur - PAC) sont peu différents selon que le mode de chauffage initial soit

une chaudière électrique ou une chaudière à gaz (entre 0 et 50 €/tCO₂éq), alors que les potentiels d'abattement associés sont très éloignés (0,5 tCO₂éq/m² depuis une chaudière électrique, 2,2 tCO₂éq/m² depuis une chaudière à gaz). Le passage vers la classe A du DPE implique en moyenne un surcoût nettement plus important que pour les autres DPE finaux, ce qui traduit notamment le fait que les gestes restants sont généralement les plus onéreux.

GRAPHIQUE 8
Décomposition des coûts d'abattement de différentes rénovations énergétiques
(isolation + conversion vers pompe à chaleur)



Lecture : si l'on considère un DPE final et un système de chauffage initial, alors en suivant la courbe correspondante, on illustre de combien le différentiel de coût et le potentiel d'abattement (et donc leur ratio, le coût d'abattement) évoluent lorsque le DPE initial augmente. Prenons l'exemple d'une transition depuis un DPE de D vers un DPE de C avec un chauffage final à la PAC : le sous-graphique du bas illustre que les coûts d'abattement sont d'autant plus faibles que le vecteur initial de chauffage est carboné (fioul : -250€/m², puis gaz : 200€/m², puis PAC : 250€/m²) ; le sous-graphique illustre également que les potentiels d'abattement sont les plus forts pour les modes de chauffage initiaux les plus carbonés. Le coût d'abattement est d'autant plus élevé que la performance du logement avant rénovation est élevée, ce qui suggère des coûts d'abattement plus attractifs pour l'isolation des logements très peu efficaces énergétiquement que des logements déjà relativement performants. Source : Budget vert 2024, Calculs DG Trésor⁶⁷.

⁶⁷ Cette analyse a été réalisée en utilisant un taux d'actualisation de 3,2 %, un effet rebond de 20 %, des coûts non-monétaires de rénovation (e.g. coûts de collecte d'information, désagrément des travaux) s'élevant à 50 % de l'investissement initial et une durée de référence de 20 ans, sur un périmètre inventaire, en recourant à des trajectoires de prix et de facteurs d'émission des différents vecteurs énergétiques constants au cours du temps (en adéquation avec les travaux de la Commission Criqui).

Sources : Prix de l'énergie 2018 (hypothèses de la Commission Criqui) ; les hypothèses de coût ont été collectées et partagées par le CIRED sur la base de données récentes. Les hypothèses de coût d'isolation expriment le coût unitaire moyen (en €/m²) de l'isolation d'une partie de l'enveloppe (mur, toit, fenêtres ou sol) à un niveau de transmission thermique (coefficients U) égal à la transmission thermique moyenne d'un logement B (ADEME 2019, Enertech 2021, Observatoire BBC 2021). Les hypothèses de coût d'un changement de système de chauffage sont issues de données RTE-ADEME de 2020. Les données primaires sur le stock de logements résidentiels ont été construites par le SDES à partir de la base DPE de l'ADEME sur la période 2017-2018 et correspondent à la représentation du parc en 2018. Elles ont été retraitées par le CIRED à l'aide du Building Energy Model pour attribuer aux logements des caractéristiques plus précises sur la performance des divers éléments de leur enveloppe. Les DPE des logements y sont exprimés en fonction de la définition pré-réforme de 2021 (critère énergie uniquement). Ces hypothèses de coût et de stock ont été mises en commun par la DG Trésor pour obtenir des hypothèses de coût moyen par transition de DPE et de système de chauffage ; les intensités carbone des différents vecteurs énergétiques sont issues de la Base Empreinte de l'ADEME.

2 Effets macroéconomiques de la transition vers la neutralité carbone

Messages clés

La transition vers la neutralité carbone implique, en France, en Europe, comme ailleurs dans le monde, un renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre (GES), visant à déclencher les investissements supplémentaires en décarbonation et à réduire les investissements dans les activités émissives.

- Cette transition résultera de diverses politiques publiques (taxes, subventions, normes...). Pour l'analyse des effets macroéconomiques, elles sont modélisées par une hausse de prix du carbone.
- La hausse du prix du carbone constitue un choc d'offre négatif dont l'effet dépend de l'ampleur de l'action climatique. Dans le cas où le rehaussement du prix du carbone passerait par de la fiscalité, les effets économiques de ce surcoût dépendraient aussi de l'utilisation qui serait faite des recettes générées.
- Les investissements de décarbonation supplémentaires constituent un choc de demande positif, dont l'ampleur dépend également de celle de l'action climatique, mais leur financement et l'impact de leur surcoût sur l'efficacité de l'appareil productif pourraient fortement limiter ces effets positifs.
- Si une transition ordonnée et coordonnée vers la neutralité carbone implique un coût économique à court-moyen terme, celui-ci reste bien inférieur aux dommages évités à long terme.
- De plus, la transition énergétique permettra d'améliorer plusieurs dimensions de la sécurité d'approvisionnement énergétique et de souveraineté énergétique : les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance commerciale (les importations de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix, déterminés sur les marchés mondiaux.

À titre illustratif, une évaluation partielle des effets de la transition vers la neutralité carbone sur l'économie française a été réalisée à partir de la deuxième version de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC 2).

- Cette évaluation s'appuie sur la comparaison de deux scénarios, le premier dit « avec mesures existantes », tenant compte de l'ensemble des politiques de décarbonation mises en place jusqu'en 2017 et le second dit « avec mesures supplémentaires » construit de sorte à respecter les objectifs de réduction d'émissions de GES.
 - Le premier canal, le renchérissement du coût des émissions de GES pourrait conduire à une baisse du niveau d'activité de 0,9 pt de PIB en 2030 par rapport à un scénario sans mesures de décarbonation supplémentaires. Dans le cas où ce renchérissement s'appuierait sur de la fiscalité, l'utilisation des recettes ainsi générées permettrait d'atténuer cette baisse d'activité.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- Par ailleurs, les investissements supplémentaires nets pour la décarbonation des ménages, des entreprises et des administrations publiques, tels que prévus par la SNBC 2, soutiendraient le niveau d'activité à hauteur de 1 pt de PIB en 2030. Toutefois, leur financement et le surcoût que ces investissements représentent pour les entreprises par rapport aux technologies alternatives existantes pourraient réduire cet effet positif de 0,6 pt de PIB, soit un effet net des investissements (avec financement et surcoût) de 0,4 pt de PIB à horizon 2030.
- La prise en compte des effets de la transition énergétique dans le monde sur l'économie française, dans un scénario de transition ordonnée, amplifierait les effets sur l'activité domestique, et impliquerait aussi davantage de dommages évités. À horizon 2030, ce bouclage international pourrait accroître la perte d'activité de 1,5 pt de PIB au maximum pour le canal du renchérissement du coût relatif de GES, mais conduire à un surplus d'activité de 0,8 pt de PIB pour le canal de l'investissement.

Une évaluation de la transition énergétique dans le monde a également été réalisée selon différents scénarios d'action climatique.

- Concernant le renchérissement du coût des émissions de GES, en cas d'action unilatérale, l'Union européenne (UE) perdrait en compétitivité, puisqu'elle serait seule à augmenter son prix du carbone. Dans le cas d'une transition ordonnée au niveau mondial, les exportations européennes seraient affectées par la baisse induite de demande mondiale.
- De la même manière qu'en France, la transition implique un surcroît d'investissements dans le monde qui stimulerait l'activité mondiale et la demande adressée à l'UE. Ce choc positif serait plus fort dans le cadre d'une transition ordonnée que dans celui d'une action unilatérale de l'UE. Ces effets seraient toutefois modérés par le financement des investissements, l'hypothèse étant faite qu'ils ne peuvent pas se traduire par un surcroît d'endettement.

Les résultats de ces travaux de modélisation doivent être interprétés avec précaution dans la mesure où ils ne couvrent pas l'ensemble des implications économiques de la transition vers la neutralité carbone. Plusieurs dimensions sont à considérer afin d'enrichir ces évaluations macro-environnementales, 1) l'hétérogénéité au sein des ménages et des entreprises, notamment sectorielle ou entre pays, la modélisation ne tenant pas compte des spécialisations sectorielles de certains pays en lien avec la transition ; 2) l'évolution du progrès technique, avec l'innovation verte, mais également les risques associés à des effets d'évitement des dépenses de recherche et développement pour l'amélioration de l'efficacité énergétique sur celles soutenant la croissance de la productivité ; et 3) la réallocation du travail, du capital et des consommations intermédiaires, que ce soit au niveau national ou international, avec les coûts associés. De plus, les évaluations macroéconomiques doivent s'attacher à modéliser au mieux les différentes mesures de décarbonation (tarification du carbone, réglementations, subventions, etc.), ainsi que les conséquences sur l'appareil productif du surcoût des investissements en décarbonation par rapport aux technologies existantes (dans les transports, l'industrie, etc.).

TABLEAU DE SYNTHESE
Impact sur l'activité en France, dans l'Union européenne (UE) et dans le monde (i) d'une transition ordonnée cohérente avec l'objectif de neutralité carbone en 2050 et (ii) du changement climatique (écart en pt de PIB)

Scénario	Région	Choc du prix du carbone				Choc d'investissements nets financé ⁶⁸		Dommages du changement climatique évités (2050)				
		sans utilisation des recettes carbone		avec transfert aux ménages/baisse des cotisations sociales		2030	2050	2030	2050	5 ^{ème}	Médiane	95 ^{ème}
		2030	2050	2030	2050							
Transition vers la neutralité carbone	France (hors bouclage international)	-0,9	-0,5	-0,6/-0,5	-0,6/0,0			+0,4	-0,5	+5	+6	+7
Transition énergétique	UE	-0,7	+0,2	-0,2/-0,7	+0,0/+0,2			-0,2	+0,4	-1	+6	+15
	Monde	-1,8	-1,5	-1,2/-1,8	-1,8/-1,4			+0,4	+0,7	+2	+9	+18

Sources : deuxième version de la stratégie nationale bas carbone (SNBC 2) pour la France, agence internationale de l'énergie (AIE) pour UE et Monde, réseau pour le verdissement du système financier (NGFS) pour les dommages évités ; calculs de la Direction générale du Trésor à l'aide des modèles Mésange et Oxford Economics.

Note : Il existe une forte incertitude quant à l'ampleur des effets négatifs des hausses de températures sur l'activité (ou dommages climatiques). Le tableau présente donc les dommages climatiques qui correspondent aux 5^{ème}, 50^{ème} (médiane) et 95^{ème} percentiles des projections des dommages réalisées par le NGFS.

2.1 Un renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre pour déclencher les investissements en décarbonation pour l'ensemble des pays

La transition vers la neutralité carbone vise à découpler la croissance économique des émissions de gaz à effet de serre générées par l'activité humaine, dont la concentration dans l'atmosphère est à l'origine du changement climatique. Au niveau macroéconomique, la transition vers la neutralité carbone peut être décomposée pour l'ensemble des pays en deux canaux de transmission⁶⁹ : 1) un renchérissement du coût relatif des émissions de GES devant entraîner 2) une recomposition de l'investissement agrégé, avec une hausse des investissements dans la décarbonation et des désinvestissements dans les activités émissives. L'analyse de ces deux canaux est généralement faite par rapport à un scénario hypothétique dans lequel le rythme de croissance est inchangé, c'est-à-dire sans prise en compte des risques physiques liés au changement climatique⁷⁰. Cette démarche permet ainsi d'analyser séparément les effets macroéconomiques liés à la transition et ceux liés aux impacts physiques du changement climatique, bien qu'en pratique ceux-ci interviennent simultanément.

D'un côté, le renchérissement du coût relatif des émissions de GES, qui résultera à la fois de la fiscalité, des réglementations et des subventions, s'apparente a priori à un double choc négatif de demande et d'offre. Il rehausse les prix des biens et des services dans les secteurs et les entreprises concernés, les plus émissifs, directement mais aussi par le biais de la réallocation d'une partie de leurs facteurs de production vers la décarbonation de leur processus productif

⁶⁸ Les résultats ne sont pas directement comparables au Tableau 3 car l'analyse ne prend pas en compte les effets de la transition sur la productivité exposés dans la partie 2.5. Les résultats diffèrent aussi en raison du périmètre étudié (transition écologique vs énergétique) et des modèles utilisés (Mésange vs Oxford Economics).

⁶⁹ Pisani-Ferry J., Mahfouz S. (2023), « [Les incidences économiques de l'action pour le climat – Rapport de synthèse](#) » France Stratégie.

⁷⁰ Ce scénario correspond qualitativement à la situation actuelle, afin d'avoir un point de comparaison facilement appréhendable. En pratique, les effets macroéconomiques de la transition écologique seront à mettre en regard du coût du changement climatique.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

et l'efficacité énergétique, sans que cela ne leur permette de créer davantage de valeur, du moins à court terme. En outre, les interconnexions entre secteurs et entreprises, aux niveaux national et international, font que le choc se diffusera aux prix agrégés à la production et à la consommation. Les ménages pourraient alors réduire leur consommation agrégée, du fait de la perte de pouvoir d'achat que la hausse des prix engendrerait, obérant la croissance de l'activité. À moyen et long terme, le renchérissement du coût des émissions de GES se traduirait par une réduction de la consommation d'énergies fossiles. Ces dernières étant entièrement importées, ce poste de la balance commerciale s'améliorerait et la France serait moins affectée par des chocs de prix sur le pétrole et le gaz, qui sont déterminés sur les marchés mondiaux par l'équilibre mondial offre-demande (lui-même dépendant des stratégies d'export de certains pays).

D'un autre côté, les investissements en décarbonation, privés et publics, peuvent être analysés comme un choc de demande positif. Ce choc stimule l'activité économique dès le court terme en générant un surplus de demande adressé aux entreprises, et favorise ainsi la création d'emplois. Cette hausse de la demande exerce toutefois une pression haussière temporaire sur les prix, dès lors que l'offre ne peut pas répondre immédiatement à la totalité de ce surplus de demande, et que les entreprises et secteurs font face à des coûts d'ajustement dans l'organisation de leur production. L'impact sur l'investissement agrégé dépendra des désinvestissements dans les activités émissives, du comportement de sobriété des ménages et des entreprises, et de la capacité du système financier à réallouer les financements, de sorte à limiter les effets d'éviction pour les autres investissements productifs.

Alors que l'augmentation des coûts de production et les investissements en décarbonation risquent *a priori* d'accroître l'inflation, l'impact total de la transition sur les prix dépendra de la réaction de la politique monétaire et des anticipations des ménages. En outre, le renchérissement du coût relatif des émissions de GES, la question du financement de la transition, ainsi que l'adoption de comportements plus sobres pourraient conduire à un ralentissement de la croissance économique pendant la phase de transition. **À long terme, les politiques d'atténuation induisent toutefois des bénéfices, en premier lieu au regard des effets délétères du changement climatique évités, mais également économiques**, via le développement et le déploiement des technologies bas-carbone qui pourraient générer des gains de productivité.

Les résultats des évaluations récentes réalisées par différentes institutions (Commission européenne, FMI, OCDE, NGFS, etc.) font état d'un effet sur l'activité de la transition vers la neutralité carbone légèrement négatif (cf. Tableau 1), mais ces conclusions sont à interpréter avec prudence au regard des limites inhérentes à ces modélisations. Le coût macroéconomique de la transition serait plus faible, en pourcentage du PIB, en France et en Europe (que ce soit au niveau de la zone euro ou de l'Union européenne) que dans le reste du monde, du fait d'un niveau d'intensité d'émissions de GES initial relativement plus faible⁷¹. Par ailleurs, ces évaluations mettent en évidence l'amplification des coûts économiques dans le cas d'une transition retardée à 2030 ou désordonnée au niveau mondial, relativement à une transition ordonnée. Ces résultats doivent néanmoins être interprétés avec précaution. La quasi-totalité de ces travaux ne tiennent en effet pas compte de certaines dimensions de la transition vers la neutralité carbone, en particulier : 1) les coûts associés à la réallocation du travail, du capital et des consommations intermédiaires (frictions dans les réallocations intersectorielles, infra-sectorielles et géographiques de l'emploi, obsolescence d'une partie du stock de capital dans les secteurs les

⁷¹ Bien que les coûts d'abattements soient plus élevés en Europe que dans le reste du monde (cf. Chapitre 3), il y a moins d'émissions à abattre.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

plus carbonés, goulots d'étranglement de l'approvisionnement en matériaux critiques, etc.) et 2) l'impact des mesures de décarbonation sur le progrès technique, lesquelles pourraient générer des innovations, sources possibles de gains de productivité à moyen-long terme ou qui au contraire peuvent évincer d'autres innovations qui auraient eu lieu en leur absence.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

TABLEAU 1
Synthèse des évaluations ex ante de l'impact sur l'activité de différents scénarios de transition, en France, en Europe et dans le monde

SOURCE	MODÈLE(S)	SCÉNARIO(S) MODÉLISÉ(S)	ZONE GÉOGRAPHIQUE	IMPACT SUR LE PIB (écart en % à un scénario de référence)		
				2030	2040	2050
Commission européenne (2022)	E-QUEST	Scénarios pour atteindre la neutralité carbone en 2050 par rapport à un contrefactuel sans choc	UE	-0,2 % à 0 %	-1,2 % à -0,2 %	-1,8 % à -0,6 %
FMI (2022)	GMMET	Scénario pour limiter la hausse des températures à 2°C en 2050 par rapport à un contrefactuel sans choc	Zone euro	-0,9 % à -0,5 %	Non spécifié	Non spécifié
			Reste du monde	-1,7 % à -0,9 %		
OCDE (2023)	ENV-Linkages	Scénarios pour limiter la hausse des températures à 1,5°C en 2050 par rapport à un contrefactuel sans choc	Zone euro	-0,3 % à 0 %	-1,2 % à 0 %	-2,5 % à 0 %
			Reste du monde	-1,3 % à -1 %	-4 % à 0 %	-8,6 % à 1,5 %
Ademe, Banque de France, CIRED, Seureco (2023)	ThreeME, NiGEM, Imaclim et NEMESIS	Scénario de transition ordonnée par rapport à un contrefactuel sans choc	France	-0,8 % à 1,5 %	-1,1 % à 1 %	-1,1 % à 0,8 %
		Scénarios de transition retardée à 2030 par rapport à un contrefactuel sans choc		-0,2 % à 0 %	-2,4 % à 0,5 %	-5 % à -0,2 %
		Scénarios de transition désordonnée par rapport à un contrefactuel sans choc		-1,3 % à 1,5 %	-1,9 % à 0,6 %	-1,7 % à 0 %
Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2023)	ThreeME	Ensemble de mesures sectorielles de décarbonation (transport, logement, énergie, industrie, fiscalité) par rapport à un scénario des mesures prises jusqu'en 2021	France	0 % à 1 %	-1 % à 1 %	Non spécifié
FMI (2024a)	ENVISAGE	Scénario pour atteindre les objectifs de réduction des émissions du paquet "fit-for-55" par rapport à un scénario sans choc	France	-1,3 %	Non spécifié	Non spécifié
FMI (2024b)	CPAT	Scénario reprenant les contributions déterminées au niveau national par rapport à un contrefactuel sans choc	UE	-0,5 %	Non spécifié	Non spécifié
BCE (2024)	New Area Wide-Model	Scénarios pour atteindre la neutralité carbone en 2050 par rapport à un contrefactuel sans choc	Zone euro	-1,2 % à -1,1 %		
				-1,2 % à -1,1 %	Non spécifié	Non spécifié
Commission européenne (2024)	E-QUEST, JRC-GEM-E3 et E3ME	Scénario de hausse de la cible de réduction d'émissions à l'horizon 2040 par rapport à 1990 de 80 % à 85 % avec coopération internationale	UE	Non spécifié	-0,2 % à 0 %	-0,1 % à 0 %
		Scénario de hausse de la cible de réduction d'émissions à l'horizon 2040 par rapport à 1990 de 80 % à 85 % sans coopération internationale			-0,8 % à 0 %	-0,1 % à 0 %
NGFS (2024)	NiGEM	Scénarios de transition ordonnée par rapport à un contrefactuel sans choc	Europe	-0,4 % à 0 %	-0,1 % à 0 %	-0,7 % à 0,3 %
		Scénarios de transition désordonnée par rapport à un contrefactuel sans choc	Monde	-0,9 % à -0,3 %	-1,1 % à -0,4 %	-1,6 % à -0,5 %
			Europe	0 %	-0,5 % à -0,1 %	-1,5 % à -0,5 %
			Monde	0 %	-1,3 % à -0,3 %	-1,7 % à -0,7 %

Source : analyse DG Trésor ; à partir d'études diverses, classées par ordre chronologique. Les références sont disponibles dans l'annexe associée à ce chapitre du rapport.

Note : Ces évaluations ne tiennent pas compte des effets économiques du changement climatique.

2.2 Quelles conséquences de la transition vers la neutralité carbone sur l'économie française ?

Cette partie propose d'analyser les effets macroéconomiques de la transition vers la neutralité carbone sur l'économie française, hors prise en compte des conséquences de la transition des autres pays sur la France⁷², par le biais des deux canaux présentés ci-dessus, à savoir, le renchérissement du coût relatif des émissions de gaz à effet de serre et les investissements nets supplémentaires en décarbonation, en s'appuyant sur le modèle macroéconométrique Mésange⁷³ (cf. Encadré 1 pour une présentation du modèle). Le modèle Mésange présente l'avantage de permettre d'étudier indépendamment le renchérissement du coût relatif des émissions de GES et les investissements pour en comprendre les effets attendus. Les données mobilisées sont celles de la deuxième version de la stratégie nationale bas carbone (SNBC 2), publiée en 2020⁷⁴. Dans la SNBC, le scénario d'une transition ordonnée de sorte à atteindre la neutralité carbone en France en 2050 est appelé « avec mesures supplémentaires » (AMS). Il est comparé à un scénario de référence, dit « avec mesures existantes » (AME), qui tient compte des mesures de décarbonation déjà mises en place ou décidées à la date de 2017. Des travaux sont en cours pour proposer une nouvelle version de la SNBC⁷⁵. **Cette analyse macroéconomique ne préjuge pas des choix de politiques de décarbonation qui peuvent être faits pour réaliser la transition écologique.**

Dans la mesure où il n'existe pas à date de données fournissant des séries cohérentes de prix du carbone et d'investissements pour la France, deux sources de données différentes ont été mobilisées pour pouvoir réaliser cette étude :

- *le renchérissement du prix du carbone pour le scénario de transition ordonnée* est calculé à partir de la valeur de l'action pour le climat (VAC) calculée par la Commission présidée par Alain Quinet en 2019⁷⁶. La VAC correspond à un prix fictif du carbone représentant l'effort que la société est prête à engager pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est comparé à un prix fictif cohérent avec le scénario de référence, calculé par la Direction générale du Trésor. Ce prix du carbone est calculé à des fins de modélisation macroéconomique et ne constitue pas une recommandation de trajectoire de prix du carbone. Ce prix fictif du carbone peut prendre la forme d'une taxe, de quotas, de réglementations ou de subventions.
- *les investissements supplémentaires pour la décarbonation* correspondent aux chroniques de besoins d'investissements supplémentaires pour la décarbonation de la SNBC 2⁷⁷.

⁷² L'analyse est ici réalisée indépendamment de la réaction des autres pays. Une synthèse de l'impact de la transition dans le reste du monde sur l'économie française est proposée dans l'encadré 4 ci-dessous.

⁷³ Bardaji J., Campagne B., Khder M.-B., Lafféter Q. et Simon O. (Insee), Dufernez A.-S., Eleazar C., Leblanc P., Masson E. et Partouche H. (DG Trésor) (2017), « Le modèle macroéconométrique Mésange : ré-estimation et nouveautés », Document de travail DG Trésor n°2017-04, mai 2017.

⁷⁴ Ministère de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques (2020), « Stratégie nationale bas-carbone – La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone ».

⁷⁵ Plus de détails sur l'élaboration de la SNBC sont disponibles sur le site des Ministères Territoires, Ecologie et Logement.

⁷⁶ France Stratégie (2019), « La valeur de l'action pour le climat – Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques ». En pratique, la VAC peut être utilisée pour calculer la rentabilité d'investissements en décarbonation. Des travaux sont en cours pour actualiser la trajectoire de la VAC, en cohérence avec la SNBC 3.

⁷⁷ Cf. Hainaut H. et Ledez M. (2022), « Panorama des financements climat », I4CE, Didier Michel, Koleda G. et Trottignon R. (2022), « Les enjeux économiques de la décarbonation de la France, Une évaluation des investissements nécessaires », Rexecode et Gourmand L. (2024) « Quels besoins d'investissements pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ? », Direction générale du Trésor, Document de travail n°2024/2 pour un panorama harmonisé des estimations des besoins d'investissements existantes.

ENCADRÉ 1

Présentation générale du modèle macroéconométrique Mésange

Mésange (Modèle Économétrique de Simulation et d'ANalyse Générale de l'Économie) est un modèle macroéconométrique trimestriel de l'économie française développé et utilisé conjointement par l'Insee et la Direction générale du Trésor. Il repose sur une petite économie ouverte dans laquelle les agents économiques (ménages, entreprises et administrations publiques) sont modélisés dans leurs comportements de consommation, d'investissement, de détermination des prix et des salaires, l'environnement international étant supposé exogène. Mésange se caractérise par une approche keynésienne où les comportements de demande prédominent à court terme tandis que l'offre conditionne le long terme.

Le modèle est constitué de trois types d'équations : des équations de comportement, ou structurelles, sont estimées économétriquement et traduisent des comportements économiques (par exemple, à long terme, la consommation des ménages dépend de leur revenu, avec un taux d'épargne stable) ; les identités comptables garantissent la cohérence entre les principaux agrégats de la comptabilité nationale (par exemple, l'équilibre emplois-ressources) ; des relations techniques permettent de relier certaines variables entre elles à l'aide de coefficients calibrés hors modèles (les consommations intermédiaires non-énergétiques sont supposées représenter une part constante de la production). Deux types de travailleurs (qualifiés et non-qualifiés) et cinq secteurs d'activité sont par ailleurs modélisés (agriculture et industries manufacturières, services exposés à la concurrence internationale, services abrités, énergie et services non-marchands).

Mésange est utilisé pour évaluer *ex ante* l'impact macroéconomique de politiques et de chocs économiques, sur la base d'une combinaison linéaire de variables exogènes choquées (par exemple, l'investissement public, la TVA ou le prix du baril de pétrole). Le modèle intègre une décomposition fine des investissements (par agent institutionnel et par secteur d'activité), ainsi que la fiscalité sur les consommations finales des ménages et intermédiaires des entreprises en énergie carbonée, permettant d'appréhender les effets macroéconomiques de la transition écologique.

2.2.1 Le choc de prix du carbone aura un impact négatif persistant sur l'activité et sur l'emploi...

Un renchérissement du prix du carbone a un impact macroéconomique différencié selon qu'il touche les ménages ou les entreprises :

- Une hausse du prix du carbone pour les ménages s'apparente à un choc de demande négatif car il augmente immédiatement le prix de leur consommation énergétique, réduisant leur pouvoir d'achat. S'ils peuvent lisser l'impact du choc au cours du temps par le biais de leur épargne, les ménages tendent à réduire leur consommation totale, ce qui conduit à une moindre demande adressée aux entreprises. Cela pèse sur l'activité et l'emploi, exerçant une pression baissière sur les salaires. L'investissement ralentit également, amplifiant la baisse de l'activité, par effets multiplicateur (une baisse de l'investissement réduit l'activité du fait d'une baisse de la demande adressée aux entreprises) et accélérateur (une baisse de l'activité désincite les entreprises à investir). À moyen-long terme, une partie de la perte d'activité se résorberait grâce à un ralentissement de la croissance des prix, via la boucle prix-salaires, renforçant la compétitivité-prix des entreprises. En outre, la balance commerciale pourrait s'améliorer dès le court terme : d'une part, par le biais de la baisse immédiate des importations, en

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

premier lieu énergétiques⁷⁸ mais aussi agrégées, avec le ralentissement de la consommation des ménages ; et d'autre part, grâce à une hausse à moyen terme des exportations, via l'amélioration de la compétitivité-prix des entreprises ;

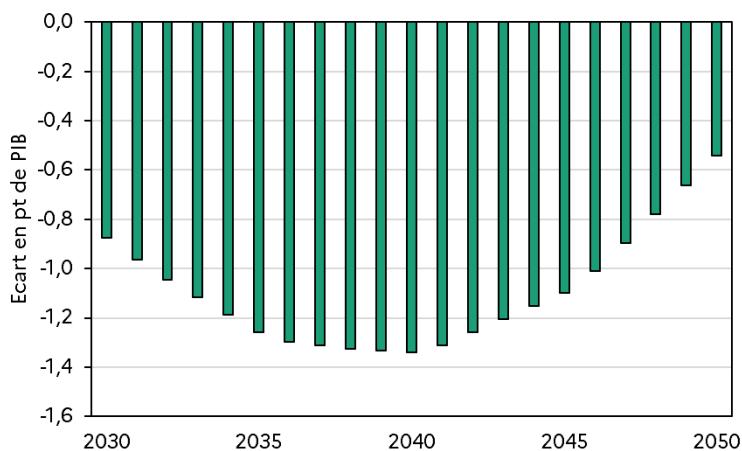
- Une hausse du prix du carbone pour les entreprises s'apparente à un choc d'offre négatif dans la mesure où il rehausse les prix des biens et des services dans les secteurs concernés puis, progressivement, les prix à la production et à la consommation par le biais des interconnexions entre entreprises. La hausse des coûts de production aura un effet négatif direct sur l'activité mais également indirect via l'augmentation des prix qui obère la consommation des ménages. Le ralentissement de l'activité procède également de la baisse de l'investissement, selon les mêmes effets multiplicateur et accélérateur que pour la hausse de prix du carbone sur la consommation énergétique des ménages. Dans la situation considérée ici où seule la France fait la transition, le renchérissement des coûts de production a un impact négatif persistant sur la compétitivité-prix des entreprises, conduisant à une baisse de leurs exportations. La balance commerciale ne se dégraderait toutefois pas nécessairement dès lors que la diminution des importations, énergétiques pour les entreprises et agrégées via le bouclage macroéconomique, est plus importante que la baisse des exportations.

Le renchérissement du prix du carbone cohérent avec l'objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050 impliquerait une contraction d'ampleur relativement faible mais persistante de l'activité et de l'emploi par rapport à la trajectoire de croissance à mesures inchangées. Le niveau d'activité serait ainsi inférieur de 0,9 point de PIB en 2030 par rapport au scénario de référence. Cette diminution procèderait en premier lieu d'une baisse de la consommation, d'abord énergétique mais aussi agrégée résultant du bouclage macroéconomique. Ces effets sur l'activité et sur l'emploi se résorberaient progressivement à partir de 2040 avec l'épuisement du choc de demande négatif (sur les ménages notamment, grâce à l'électrification du parc automobile et à la rénovation thermique des logements qui impliquent une baisse de la consommation d'énergies fossiles), mais aussi avec la réduction significative des émissions grâce à laquelle le coût économique de ce renchérissement diminuerait à long terme⁷⁹. Ainsi, le niveau d'activité serait de 1,3 pt de PIB inférieur à son niveau dans le scénario de référence en 2040 et de 0,5 pt de PIB inférieur en 2050.

⁷⁸ Les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance commerciale (les importations de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023, [SDES, 2024](#)) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix.

⁷⁹ Les émissions résiduelles concernent principalement les entreprises, et notamment celles du secteur agricole, avec une compensation via les puits de carbone (naturels et technologiques). Cela se traduit ainsi par une persistance du choc d'offre négatif.

GRAPHIQUE 1
Impact de la hausse du prix du carbone sur l'activité de la France



Source : Commission Quinet (2019) à partir de la SNBC 2 ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Mésange.

2.2.2 ...qu'une utilisation des recettes supplémentaires pourrait limiter dans le cas où le renchérissement du prix du carbone passerait par de la fiscalité carbone.

Une partie de la hausse du prix du carbone pourrait relever d'un renforcement de la fiscalité environnementale, qui induirait des recettes supplémentaires pour les finances publiques. Ces recettes pourraient ainsi être mobilisées pour limiter l'impact négatif sur l'activité et l'emploi de l'augmentation du coût des émissions de gaz à effet de serre. Deux principaux modes stylisés d'utilisation de ces recettes sont généralement considérés dans la littérature économique⁸⁰ : un transfert forfaitaire aux ménages pour limiter les pertes de pouvoir d'achat et une baisse des cotisations sociales, employeurs ou salariés, pour contenir la hausse des coûts de production des entreprises. Du point de vue théorique, pour un montant de recettes donné :

- Un transfert forfaitaire aux ménages s'apparente à un choc de demande positif. Le revenu disponible des ménages augmente mécaniquement, ce qui accroît leur pouvoir d'achat. L'augmentation de la consommation qui en résulte soutient l'activité des entreprises, conduisant à des créations d'emplois et à un surplus de revenu pour les ménages qui renforce l'impact positif sur l'activité. Néanmoins, l'augmentation des salaires générée par la baisse du chômage se répercute sur les prix. Du fait de la boucle prix-salaire, les entreprises perdent en compétitivité et leurs exportations diminuent. La dégradation de la balance commerciale est également alimentée par la hausse de la demande des ménages adressée aux producteurs étrangers. Ainsi, l'impact positif initial sur l'activité et sur l'emploi est significativement réduit par un double effet d'éviction, par les prix et par les importations ;
- Une baisse des cotisations sociales (salariés ou employeurs) s'apparente à un choc d'offre positif. La baisse du coût du travail stimule la demande de travail, ce qui accroît directement l'activité mais aussi indirectement via l'augmentation du revenu des

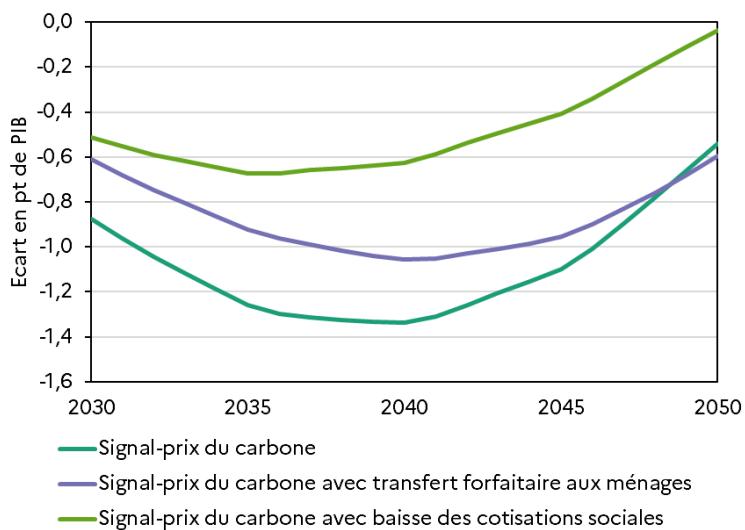
⁸⁰ E.g. FMI (2022), « [Near-term macroeconomic impact of decarbonization policies](#) », WEO, chapitre 3 ; in 't Veld J., Roeger W. et Varga J. (2021), « [E-QUEST - A Multi-Region Sectoral Dynamic General Equilibrium Model with Energy: Model Description and Applications to Reach the EU Climate Targets](#) », Commission européenne, Discussion Paper 146 ; Borowiecki M., Chateau J. et Miho A. (2023), « [Economic effects of the EU's 'Fit for 55' climate mitigation policies: A computable general equilibrium analysis](#) », OECD Economics Department Working Papers No. 1775. Il s'agit des deux principaux modes d'utilisation des recettes carbone dans la littérature. D'autres modes pourraient être considérés, tels que le financement des investissements en décarbonation ou des dépenses de recherche et développement pour soutenir l'innovation en décarbonation. Cf., par exemple, Allen T., Boullet M., Dées S., de Gaye A., Lisack N., Thubin C. et Wegner O. (2023), « [Using Short-Term Scenarios to Assess the Macroeconomic Impacts of Climate Transition](#) », Banque de France, Working Paper No. 922.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

ménages qui se traduit par une plus forte demande adressée aux entreprises. À moyen terme, la réduction du coût du travail exerce une pression baissière sur les prix, permettant aux entreprises de gagner en compétitivité. À long terme, la baisse du chômage et les gains de compétitivité-prix rehaussent durablement l'activité.

À titre illustratif, il est supposé qu'un peu plus de 30 %⁸¹ du renchérissement du prix du carbone passe par une hausse de la fiscalité sur les produits carbonés, les administrations publiques étant alors en mesure d'utiliser les recettes induites pour limiter l'impact négatif sur l'activité et sur l'emploi. Une baisse des cotisations sociales constituerait le mode d'utilisation qui pourrait limiter le plus les effets négatifs du renchérissement du prix du carbone sur l'activité et sur l'emploi à moyen-long terme en améliorant la compétitivité des entreprises. Dans ce cas, la baisse du niveau d'activité causée par le renchérissement du prix du carbone serait de 0,5 pt de PIB en 2030 (contre 0,9 pt en l'absence d'utilisation des recettes et 0,6 pt avec un transfert forfaitaire aux ménages) et nulle en 2050 (contre 0,5 et 0,6 pt de PIB respectivement). Il est à noter que l'analyse est ici réalisée en l'absence de réaction du reste du monde, dont la prise en compte peut changer significativement les conclusions (cf. Encadré 4). Par ailleurs, au-delà de l'efficacité économique, le choix du mode d'utilisation des recettes est conditionné par l'acceptabilité sociale des mesures visant à renchérir le coût relatif des émissions de GES, ce qui pourrait par exemple conduire à privilégier une utilisation pour accompagner les acteurs, en premier lieu parmi les ménages, les plus exposés (cf. Chapitre 6).

GRAPHIQUE 2
Comparaison de l'effet des deux modes d'utilisation
des recettes carbone sur l'activité de la France



Source : Commission Quinet (2019) à partir de la SNBC 2 ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Mésange.

Note : Il est supposé qu'un peu plus de 30 % de la hausse du prix du carbone correspond à une augmentation explicite de la fiscalité carbone dont les recettes supplémentaires induites peuvent être recyclées selon les deux modes considérés.

⁸¹ Ce pourcentage est calculé en comparant la VAC à la composante fiscalité carbone (composante carbone et système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre) du taux effectif du carbone calculé par l'OCDE, dont les recettes afférentes peuvent faire l'objet d'une utilisation en faveur des ménages et/ou des entreprises. Cette comparaison est faite à l'année 2021, dernière date pour laquelle des données sont disponibles et il est supposé que ce pourcentage reste constant sur l'ensemble de la période, en l'absence d'informations supplémentaires.

2.2.3 Les investissements en décarbonation, nets des désinvestissements bruns, déclenchés par l'augmentation du prix du carbone, soutiendront l'activité et l'emploi...

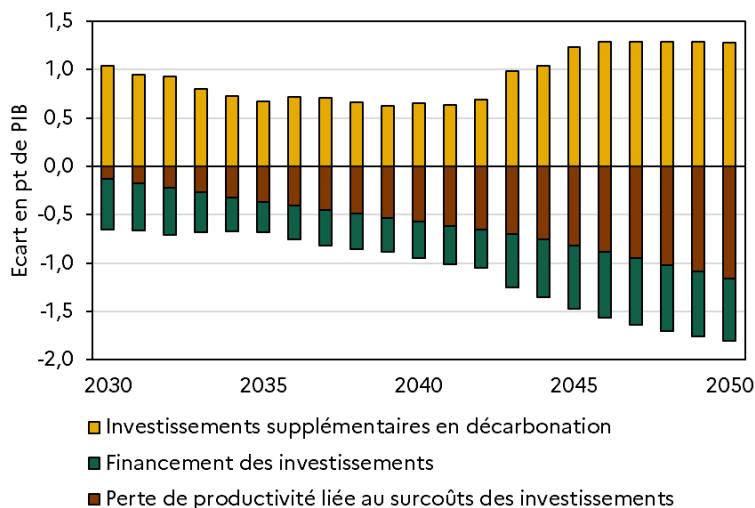
Dans le modèle Mésange, un choc d'investissement s'apparente à un choc de demande et ne tient pas compte des canaux de transmission par l'offre qui pourraient soutenir durablement l'activité⁸². Ainsi, une hausse de l'investissement en décarbonation des ménages, des entreprises et des administrations publiques se traduit par une augmentation de la demande qui stimule l'activité et conduit à des créations d'emplois, selon un effet multiplicateur (une hausse de l'investissement stimule l'activité du fait d'une augmentation de la demande adressée aux entreprises). En complément, le surplus d'activité stimule l'investissement, amplifiant par un effet accélérateur (une hausse de l'activité incite les entreprises à investir) l'impact positif sur l'activité et l'emploi. De plus, la hausse de l'activité et de l'emploi soutient le revenu des ménages, lesquels consomment davantage, augmentant la demande adressée aux entreprises. Néanmoins, la hausse de l'emploi soutient la croissance des salaires, que les entreprises répercutent sur leurs prix. L'enclenchement de la boucle prix-salaires conduit alors à des pertes de compétitivité et à une baisse des exportations. De plus, la hausse de la demande que l'offre ne peut pas satisfaire entièrement à court terme, conduit à une augmentation des importations. Ainsi, à moyen-long terme, la hausse de l'activité et de l'emploi est significativement réduite et la balance commerciale est durablement dégradée.

En outre, cette évaluation s'appuie sur une décomposition des investissements selon trois critères, 1) les agents économiques qui les réalisent (ménages, entreprises et administrations publiques), 2) la distinction faite entre investissements de décarbonation, carbonés et autres pouvant être concernés par la transition (par exemple la construction de logements), et 3) la nature de l'investissement (bien d'investissement provenant des secteurs agricoles et manufacturiers, des services exposés à la concurrence internationale ou des services abrités). Toutefois, Mésange ne proposant qu'un seul agrégat énergétique, l'impact macroéconomique de la modification du bouquet énergétique induite par les investissements en décarbonation à moyen-long terme ne peut pas être pris en compte.

À court terme, le **surplus net d'investissements en décarbonation, hors prise en compte de leurs financements, soutiendrait l'activité et l'emploi via les effets multiplicateur et accélérateur** (cf. l'histogramme jaune du Graphique 3). L'activité pourrait être rehaussée jusqu'à 1 pt de PIB à horizon 2030 par rapport au scénario de référence sans effort supplémentaire d'investissements en décarbonation. Ces effets s'estomperaient ensuite progressivement du fait du double effet d'éviction par les prix et par les importations, avant de rebondir avec l'accélération des investissements réalisés par les différents agents institutionnels après 2040.

⁸² Mésange n'intègre pas de fonction de production explicite qui permettrait de définir le potentiel de l'économie que des investissements productifs (privés ou publics) permettraient de rehausser de sorte à soutenir l'activité et à minimiser les effets d'éviction par les prix.

GRAPHIQUE 3
Impact des besoins d'investissements en décarbonation nets sur l'activité de la France en tenant compte de leurs financements et de leurs surcoûts



Source : I4CE (2022) à partir de la SNBC 2 ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Mésange.

2.2.4 ...mais ces investissements devront être financés par l'ensemble des agents économiques...

Les effets décrits ne tiennent pas compte du financement des investissements de décarbonation. Or, les ménages, les entreprises et les administrations publiques devront les financer, notamment en mobilisant leur épargne. En 2022, 40 % des investissements en décarbonation des ménages et des entreprises étaient autofinancés, 90 % pour les administrations publiques⁸³. De plus, ces dernières ont financé, via des subventions, 10 % des investissements des ménages et 10 % des investissements des entreprises. Le reste des financements des investissements relevait de sociétés bancaires et financières. Cette répartition, supposée inchangée sur la période, est retenue pour cette modélisation.

D'un point de vue macroéconomique, **cet autofinancement pourrait se traduire par un ajustement à la baisse du taux d'épargne pour les ménages, de l'investissement productif pour les entreprises⁸⁴ et des dépenses publiques génériques pour les administrations publiques.** Ces trois modes de financement s'apparentent à des chocs de demande négatifs agissant en sens inverse du choc d'investissement initial. Ils provoqueraient une diminution de la demande adressée aux entreprises, de l'activité et donc une hausse du chômage, via les mécanismes keynésiens usuels (cf. *supra*). La baisse de l'activité serait partiellement limitée par la diminution des importations induite par de moindres consommations et investissements, qui pourrait conduire à une amélioration de la balance commerciale. À moyen-long terme, la dégradation de l'activité et la hausse du chômage exerceraient une pression baissière sur les salaires, et donc sur les prix. La compétitivité des entreprises s'améliorerait ainsi et engendrerait une hausse des exportations permettant de soutenir davantage la balance commerciale et de compenser partiellement la perte d'activité.

La prise en compte du financement des investissements de décarbonation neutraliserait ainsi une part significative des effets positifs des investissements supplémentaires en décarbonation

⁸³ Douillet M., Hainaut H., Ledez M. et Metayer S. (2023), « [Panorama des financements climat](#) », I4CE.

⁸⁴ Les investissements en décarbonation nécessiteraient alors que les entreprises allouent une plus grande part de leurs ressources financières, au détriment d'autres projets d'investissements productifs, traduisant un potentiel risque d'effet d'éviction.

sur l'activité et sur l'emploi à court-moyen terme (cf. histogramme vert du Graphique 3). L'impact négatif du financement monterait progressivement en charge, principalement par la baisse des dépenses publiques autres que de décarbonation, les administrations publiques devant financer leurs investissements et subventionner en partie les investissements des entreprises et des ménages dans le scénario étudié.

2.2.5 ...et risquent de réduire transitoirement la productivité de l'appareil productif

Les politiques de décarbonation pourraient avoir un effet négatif sur la croissance de la productivité pendant la phase de transition⁸⁵. D'une part, une partie de la recherche et développement (R&D) pourrait être réorientée vers l'efficacité énergétique et climatique, au détriment de l'amélioration des autres processus productifs. D'autre part, les investissements en décarbonation représentent un surcoût pour les entreprises par rapport aux technologies existantes, sans qu'ils ne servent *a priori* à augmenter significativement la production. Ce surcoût pourrait conduire au report ou à la non-réalisation d'autres investissements (en capital physique et humain, etc.), ce qui limiterait les gains de productivité pour les entreprises.

La mission pilotée par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz a davantage porté sur le premier canal de transmission, en soulignant l'incertitude quant à l'impact sur l'activité du risque d'effet d'éviction sur la R&D⁸⁶, le rendant particulièrement difficile à quantifier. Il serait également nécessaire de tenir compte des implications de la transition numérique sur la R&D et sur la productivité (cf. Encadré 2). **L'analyse porte ici sur les conséquences du surcoût des investissements en décarbonation sur la productivité de l'appareil productif.** La perte potentielle de productivité est ainsi évaluée en cohérence avec les besoins d'investissements en décarbonation nets des désinvestissements émissifs (la méthodologie utilisée est présentée dans l'annexe associée à ce chapitre). Il est important de noter que cette méthode donne une estimation haute de l'impact négatif sur la productivité de l'appareil productif, notamment parce qu'elle ne tient pas compte de la capacité des entreprises à générer des gains d'efficacité dans l'organisation de leur production en réponse à ce choc.

Les conséquences macroéconomiques de ce choc négatif sont évaluées dans le modèle Mésange par un ralentissement de la croissance du progrès technique, lequel s'apparente à un choc d'offre négatif. Ce ralentissement implique un renchérissement des coûts de production et donc des prix. À moyen terme, les salaires accélèrent via la boucle prix-salaires, ce qui dégrade la compétitivité-prix des entreprises françaises et la balance commerciale. Dans le cas où cette hausse des prix serait plus marquée que celle des salaires, les ménages verrraient leur pouvoir d'achat croître moins rapidement, limitant la croissance de la consommation. En outre, la hausse des coûts de production et notamment du prix de l'investissement relativement aux salaires conduirait à une diminution de l'investissement productif. Il est à noter que les effets de ce type de choc sont lents à se matérialiser dans le modèle Mésange, capturant le fait que les conséquences macroéconomiques d'un ralentissement du progrès technique n'émergent que progressivement. Ainsi, ce canal pourrait abaisser le niveau d'activité de 0,5 pt de PIB par rapport

⁸⁵ Pisani-Ferry J., Mahfouz S. (2023), op. cit.

⁸⁶ Cette incertitude a justifié le fait de ne pas retenir cet effet dans l'évaluation : le rapport thématique sur la productivité souligne que la recherche de gains d'efficacité énergétiques pourrait se faire au détriment des autres formes de recherche, par une réallocation des moyens financiers et humains, dans une ampleur difficilement quantifiable. En outre, à long terme, sous réserve d'incertitudes plus fortes, une transition réussie pourrait être à l'origine d'externalités positives qui stimuleraient l'innovation.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

au scénario de référence en 2040 et de 1,2 pt de PIB en 2050 (cf. l'histogramme marron du Graphique 3).

ENCADRÉ 2

Les effets des transitions numérique et bas-carbone sur l'économie

Au-delà de la transition bas-carbone, l'économie française sera en parallèle confrontée à un choc du fait de la transition numérique. Ce dernier, porté notamment par l'essor de l'intelligence artificielle (IA), pourrait engendrer des gains de productivité substantiels et avoir un effet positif sur la croissance potentielle.

L'ampleur du choc de productivité et le délai sous lequel il se manifestera restent incertains⁸⁷. Des gains au niveau microéconomique significatifs sont déjà observés, notamment par l'amélioration de la productivité individuelle des travailleurs grâce à des outils d'automatisation et d'analyse. Néanmoins, il est encore trop tôt pour observer empiriquement un effet sur la croissance agrégée. Comme dans le cas d'innovations technologiques passées (e.g. première vague de numérisation), les gains macroéconomiques peuvent prendre des décennies pour se manifester. L'ampleur des effets attendus sur la productivité fait débat parmi les économistes⁸⁸.

Dans l'ensemble, il est difficile de dire comment l'effet macroéconomique conjoint sur la productivité des politiques de transition vers la neutralité carbone et des moindres dommages climatiques qu'elles génèrent, se comparerait à celui de la transition numérique.

2.3 La transition énergétique aura des effets économiques hétérogènes selon les pays et le niveau d'action climatique

Cette partie propose d'analyser les implications macroéconomiques de la transition énergétique dans l'Union européenne (UE) et dans le monde, à partir de différents scénarios d'engagement climatique. Trois scénarios sont donc construits selon l'action climatique des partenaires de l'UE : transition vers la neutralité carbone en 2050 (NZ), ambition limitée aux contributions déterminées par les États (CDN)⁸⁹, ou pas d'action supplémentaire par les pays non européens (UE-seule). Dans ces trois scénarios, l'UE atteint ses objectifs climatiques, à savoir la neutralité carbone en 2050. Ces trajectoires sont évaluées par rapport à un scénario contrefactuel de référence correspondant aux politiques actuelles, i.e. décidées et en cours de mise en œuvre dans les différentes régions, ce qui, pour l'UE, tient compte du paquet « Fit for 55 ».

Pour évaluer les impacts dans le monde de ces différents scénarios de transition énergétique, la Direction générale du Trésor a mobilisé le modèle macroéconométrique Oxford Economics (voir Encadré 3). La méthode est analogue à celle utilisée pour évaluer les effets macroéconomiques de la transition vers la neutralité carbone en France, présentée dans la partie précédente : la transition énergétique dans le monde est modélisée via un **choc de prix du carbone** sur la

⁸⁷ Cf. Trésor Eco (2024) « [Les enjeux économiques de l'intelligence artificielle](#) ».

⁸⁸ Dans le World Economic Outlook d'avril 2024, le FMI estime que l'IA aurait un effet positif sur la croissance du PIB compris entre 0,1 et 0,8 point de pourcentage (pp) par an au cours de la prochaine décennie. Dans son article « [The Simple Macroeconomics of AI](#) », D. Acemoglu estime que cet effet serait moindre (+0,05 pp/an sur la prochaine décennie).

⁸⁹ Les CDN sont des engagements climatiques nationaux définis dans le cadre de l'Accord de Paris par les États eux-mêmes, qui décrivent les mesures qu'ils vont prendre pour contribuer à l'objectif mondial de limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C, pour s'adapter aux effets du changement climatique et pour assurer un financement suffisant pour soutenir ces efforts.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

consommation d'énergie, avec ou sans utilisation des recettes⁹⁰ ; et un **choc d'investissements nets** dans les énergies, financés par les ménages (cf. Tableau 2). Les chocs dépendent du pays et du scénario considéré.

Les scénarios d'évolution des émissions dans les différents scénarios d'engagements, ainsi que les données de prix du carbone et d'investissements nets mobilisées pour réaliser cette évaluation proviennent de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)⁹¹. **Seul l'impact de la transition énergétique est considéré, c'est-à-dire la réduction des émissions liées à la combustion d'énergies fossiles qui représentent 68 % des émissions mondiales⁹², par manque de données fiables sur la transition dans les secteurs non-énergétiques à l'échelle mondiale.** La prise en compte de la réduction des autres émissions, comme celles provenant de l'agriculture, renforcerait les effets économiques étudiés.

TABLEAU 2
Synthèse des hypothèses de modélisation de la transition énergétique

Scénario	Région	Hausse du prix du carbone d'ici 2050	Hausse des investissements nets cumulés jusqu'en 2050
NZ, CDN, UE-seule	UE	+115 \$/tCO2	+11 pts de PIB
Net Zero (NZ) : Action climatique nécessaire pour atteindre la neutralité carbone en 2050	RDM	+200 \$/tCO2	+19 pts de PIB
Contributions déterminées au niveau national (CDN) : Ambitions climatiques déclarées par les États	RDM	+170 \$/tCO2	+13 pts de PIB
UE-seule : Seule l'UE agit de façon à atteindre la neutralité carbone en 2050	RDM	+0 \$/tCO2	+0 pt de PIB

Note : Les hypothèses sont exprimées en écart au scénario de référence à politiques actuelles. Dans la modélisation, l'Union européenne (UE) comprend 20 pays et le reste du monde (RDM) comprend 37 pays. Dans ce tableau, la hausse du prix du carbone et la hausse des investissements nets pour ces deux régions sont calculées en utilisant la moyenne pondérée des valeurs de chaque pays qui la compose, en fonction de leur part respective dans le PIB de la région. Toutefois, dans le modèle, les chocs d'investissement et de prix du carbone sont spécifiques à chaque pays.

ENCADRÉ 3

Modélisation et limites

Le modèle Oxford Economics permet d'apprécier les effets d'entraînement internationaux de chocs localisés, et de prendre en compte l'équilibre épargne-investissement au niveau mondial. Cela permet notamment de modéliser les évolutions de la demande mondiale et de compétitivité quand des économies mettent en place des politiques climatiques différentes.

La modélisation comporte certaines limites. En premier lieu, la consommation d'énergies fossiles ne diminue pas assez pour être cohérente avec la trajectoire d'émissions carbone des différents scénarios. En conséquence, l'effet de la hausse du prix du carbone sur l'économie dépend disproportionnellement des énergies fossiles. En outre, la modélisation ne tient pas compte des spécialisations sectorielles de certains pays en lien avec la transition ou des effets de la transition

⁹⁰ Ce qui peut correspondre à une tarification implicite du carbone (via des normes par exemple). Les résultats sont d'abord présentés sans utilisation des recettes, bien que plus défavorables, car ils permettent de mieux illustrer les mécanismes à l'œuvre.

⁹¹ Agence Internationale de l'Energie (2023), « [World Energy Outlook 2023](#) », Paris, et Agence Internationale de l'Energie (2024), « [World Energy Investment 2024](#) », Paris.

⁹² United Nations Environment Programme (2024), « [Emissions Gap Report 2024](#) ».

sur la productivité. Elle ne modélise pas non plus le Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF).

Par ailleurs, les bénéfices économiques de la transition vers la neutralité carbone liés à la prévention des effets négatifs du changement climatique (dommages évités) ne sont pas explicitement modélisés, mais illustrés à partir d'autres travaux, ce qui suggère que les coûts de l'action sont plus faibles que les coûts de l'inaction (cf. partie 2.3.3).

L'ensemble des hypothèses de modélisation sont présentées dans l'annexe associée à ce chapitre.

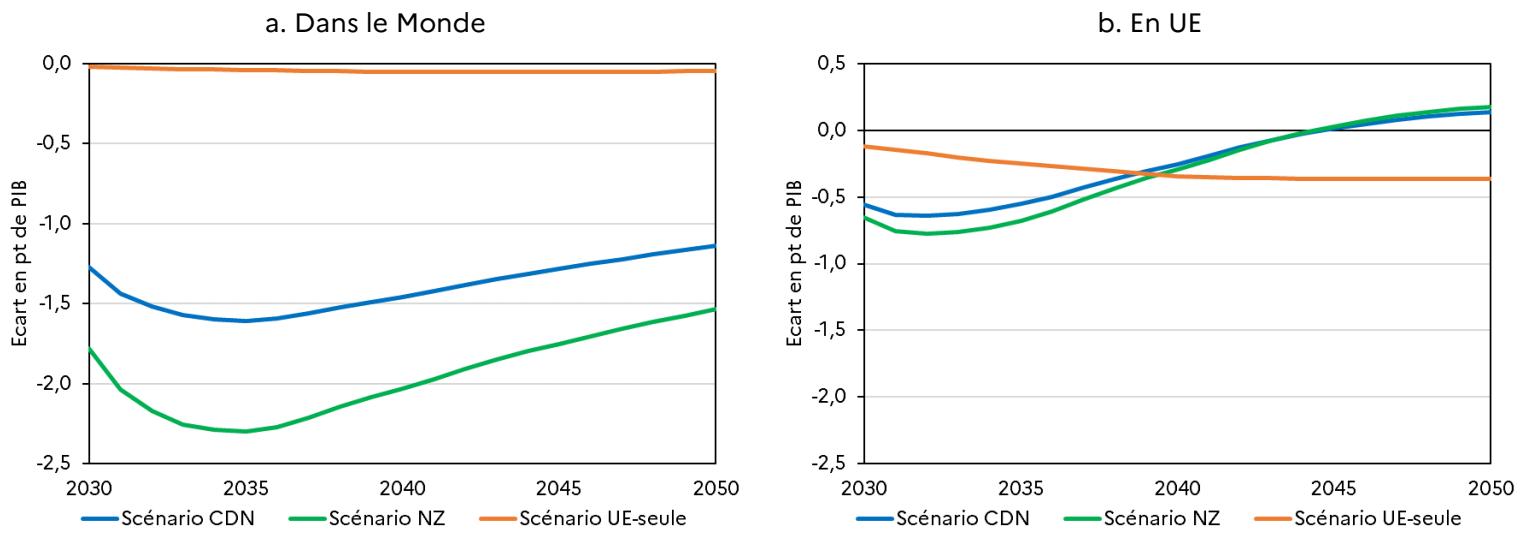
2.3.1 Hors prise en compte des dommages évités, une hausse du prix du carbone dans le monde représente un choc négatif pour l'activité mondiale, dont l'ampleur dépend de l'action climatique, et pouvant être modéré par l'utilisation des recettes

Une hausse du prix du carbone, sans utilisation des recettes et sans prise en compte des dommages évités, constitue un choc négatif pour l'activité mondiale, dont l'ampleur dépend de l'action climatique dans le monde. L'UE serait moins affectée par la transition que le reste du monde, grâce à son mix énergétique moins carboné. Un renchérissement du prix du carbone induirait une augmentation des prix de l'énergie (taxes comprises) qui augmenterait le niveau agrégé des prix et pèserait sur l'activité au niveau mondial. La perte d'activité mondiale serait ainsi croissante avec le niveau d'ambition des partenaires de l'UE, atteignant 1,6 pt de PIB en 2035 dans le scénario CDN, 2,3 pts dans le scénario NZ et seulement 0,1 pt si seule l'UE agissait. Dans l'ensemble des scénarios, les effets sur l'activité se réduiraient après 2035, car la baisse de la consommation d'énergie carbonée compenserait à cet horizon la hausse du prix du carbone. Dans les scénarios d'action ordonnée (scénarios NZ et CDN), l'UE serait moins affectée (-0,6 pt à -0,7 pt de PIB en 2035) que le reste du monde (-1,8 pts à -2,6 pts de PIB en 2035) grâce à son mix énergétique moins carboné et ses politiques actuelles déjà plus ambitieuses.

Une transition ordonnée avec le reste du monde a des effets positifs sur l'activité de l'UE via des gains de compétitivité ou une baisse des prix mondiaux de l'énergie, mais aussi négatifs via notamment une baisse de demande mondiale. L'action climatique simultanée dans les pays tiers aurait des retombées (ou effets de *spillovers*) sur l'économie européenne via différents canaux. En particulier, la baisse de demande mondiale, qui réduirait les exportations européennes, serait forte en cas de transition ordonnée à court et moyen termes (scénarios CDN et NZ). Toutefois, l'UE gagnerait en compétitivité par rapport à une situation où elle serait seule à augmenter son prix du carbone. En outre, l'UE et les pays tiers pourraient bénéficier à long terme de la plus forte baisse, en cas de transition ordonnée, des prix des énergies carbonées sur les marchés mondiaux ce qui atténuerait la baisse de demande adressée⁹³.

⁹³ Château J. et Guillemette Y. (2023), « [Long-term scenarios : incorporating the energy transition](#) », OCDE Economic Policy Paper No. 33 estiment qu'un pays menant une transition énergétique seul enregistre des pertes de PIB à horizon 2050 de l'ordre du double de celles qu'il observerait dans le cas d'une transition ordonnée. Les auteurs expliquent principalement cette différence par les pertes de compétitivité engendrée par une action unilatérale. Les scénarios du NGFS intègrent également des projections de transition désordonnée qui soulignent le rôle critique joué par la coordination internationale.

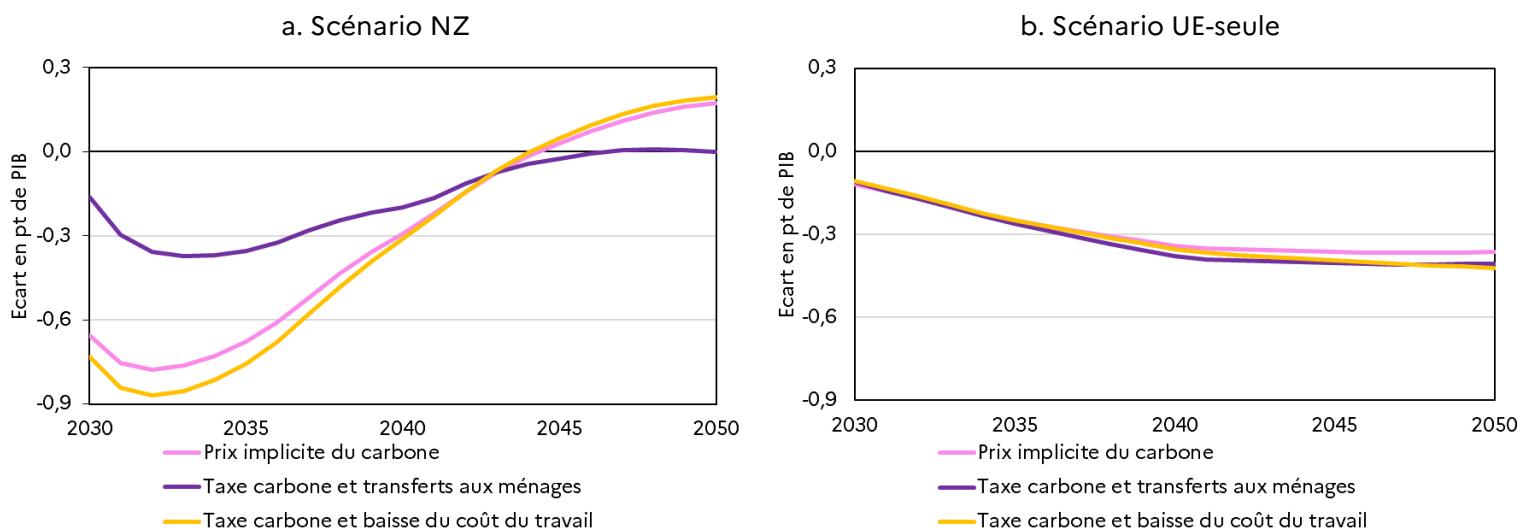
GRAPHIQUE 4
Impact d'un choc du prix du carbone sans utilisation des recettes sur l'activité



Source : AIE ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Oxford Economics.

Le mode d'utilisation des recettes de la fiscalité carbone affecterait sensiblement ces effets : une utilisation en baisse de cotisations sociales serait bénéfique à long terme tandis qu'une redistribution directe aux ménages le serait à court et moyen termes. Dans les scénarios de transition ordonnée (scénarios CDN et NZ), l'UE perdrait en compétitivité avec une utilisation via une baisse du coût du travail pour les entreprises dans l'ensemble des pays du monde, car cette baisse serait plus importante dans les pays tiers qu'en UE. Toutefois, les effets positifs sur l'emploi d'une baisse du coût du travail favoriseraient l'activité à long terme. L'activité de l'UE bénéficierait à court et moyen termes d'une utilisation des recettes générées par la fiscalité carbone via un transfert forfaitaire aux ménages dans l'ensemble des pays du monde, ce dernier stimulant la demande adressée à l'UE, mais à long terme, la hausse des prix grèverait l'activité. Dans le scénario d'absence d'action climatique des partenaires (scénario UE-seule), l'utilisation des recettes importera moins : par rapport au scénario de référence, la hausse du prix du carbone serait compensée par la baisse des émissions, réduisant l'ampleur des recettes.

GRAPHIQUE 5
Impact d'un choc du prix du carbone sur l'activité de l'UE
selon le mode d'utilisation des recettes carbone



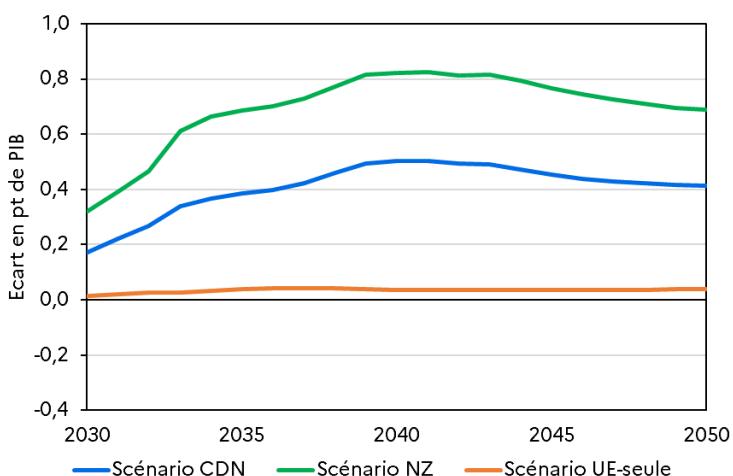
Source : AIE ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Oxford Economics.

2.3.2 Une hausse d'investissements de décarbonation stimulerait l'activité, également dans une ampleur dépendant de l'action climatique

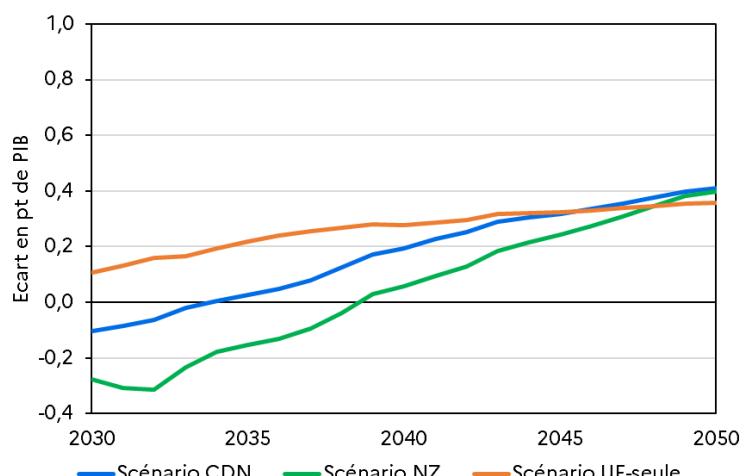
La transition énergétique implique un surcroît d'investissements qui stimulerait l'activité économique mondiale. L'ampleur de la hausse des investissements dépendrait des émissions initiales et de l'action climatique. L'augmentation du prix du carbone constitue une incitation à la transition, se traduisant par un choc d'investissements nets, d'autant plus élevé que le mix énergétique du pays repose sur des sources carbonées. Dans le monde, le choc positif serait donc d'autant plus important que l'action climatique est ambitieuse. L'impact positif des investissements, qui soutiendraient l'offre à long terme, serait toutefois amoindri par l'effort de financement reposant, dans cet exercice, sur les ménages, par rapport à un financement par endettement par exemple, ainsi que par la hausse des taux directeurs des banques centrales et du prix du pétrole, conséutivement à la hausse de demande mondiale. Ces facteurs réduiraient également la demande adressée à l'UE. En conséquence, elle connaîtrait jusqu'en 2045 une plus faible activité dans le scénario de transition ordonnée que désordonnée. Au-delà, les bénéfices d'un accroissement mondial du stock de capital primeraient. Au niveau mondial, l'investissement dans la transition énergétique est un jeu à somme positive : les gains de PIB attendus dans le monde suite à un choc d'investissement global seraient supérieurs à ceux projetés dans le cas d'un choc exclusivement européen.

GRAPHIQUE 6
Impact d'un choc d'investissements nets financé par les ménages sur l'activité⁹⁴

a. Dans le Monde



b. En UE



Source : AIE ; calculs DG Trésor à l'aide du modèle Oxford Economics.

2.3.3 La transition énergétique présente *a priori* des coûts inférieurs aux dommages du changement climatique évités

Les estimations des effets du choc de prix du carbone et d'investissements nets suggèrent que la transition énergétique présente des coûts inférieurs aux dommages du changement climatique évités. Sans tenir compte des effets de la transition sur la productivité, l'action supplémentaire nécessaire pour réaliser la transition énergétique représenterait un coût modéré en UE car les mesures prises sont déjà ambitieuses et ces coûts se résorberaient à long terme. En raison du plus fort effort nécessaire dans les pays tiers, le coût serait plus important à l'échelle mondiale. Les dommages évités par une action climatique ambitieuse seraient *a priori* d'un ordre de grandeur bien supérieur aux coûts de la transition énergétique (qui n'inclut toutefois pas les coûts liés à la transition dans d'autres secteurs).

⁹⁴ Moyenne mobile sur trois ans. Pour 2050, moyenne sur deux ans.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Le NGFS⁹⁵ estime ainsi des gains économiques liés à une action climatique ambitieuse (NZ) de 9 pts de PIB dans le monde et de 6 pts en UE en 2050, par rapport au scénario avec politiques actuelles conduisant à un réchauffement de +3°C dans le monde en 2100.

ENCADRÉ 4

Évaluation de l'impact de la transition énergétique dans le monde sur l'activité française via le bouclage des modèles Mésange et Oxford Economics

Les résultats présentés dans la deuxième partie au niveau de la France ne tiennent pas compte des effets internationaux sur la France de la transition énergétique. Or la France étant une économie ouverte sur le reste du monde, les incidences économiques de la transition dans le reste du monde la toucheront également, via les interconnexions économiques, commerciales et financières (cf. Chapitre 3). L'analyse des effets d'un scénario de transition ordonnée dans le monde (Net Zero) réalisée avec Oxford Economics peut être mobilisée pour ajouter cette dimension internationale avec le modèle Mésange.

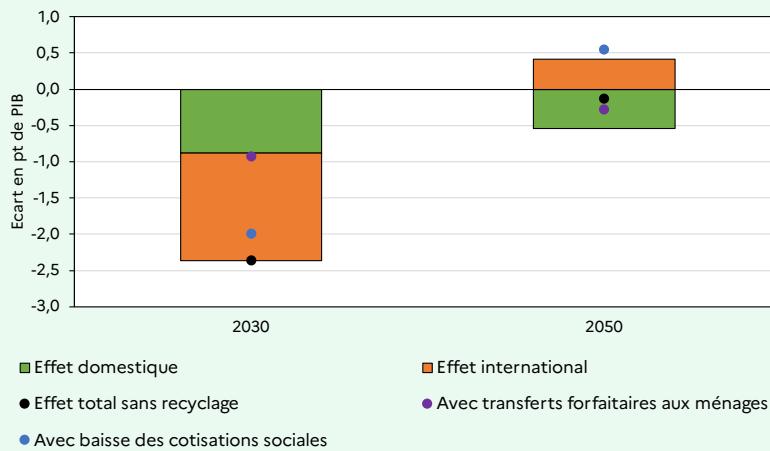
D'une part, le rehaussement du prix du carbone au niveau mondial pendant la phase de transition pénaliserait l'activité française, via une baisse de la demande mondiale adressée à la France. Ce choc de demande négatif entraîne une baisse des exportations et de l'investissement des entreprises, qui se répercute sur le reste de l'économie et sur la consommation des ménages par les mécanismes de bouclage keynésien. En parallèle, la baisse de la demande mondiale d'énergies carbonées conduit à une diminution du prix du pétrole, et accentue les pressions déflationnistes induites par la baisse de la demande. À long terme, la baisse du prix du pétrole, la réaction des banques centrales à ces pressions, se traduisant par une baisse des taux d'intérêt, et l'appréciation de l'euro (liée à une asymétrie de transition entre les États-Unis et la zone euro induisant une plus grande baisse de la croissance aux États-Unis⁹⁶) permettraient de limiter les pertes d'activité par rapport au scénario de référence sans effort de décarbonation supplémentaire. Au total, en prenant en compte l'effet du prix du carbone en France, l'activité pourrait ainsi être réduite de 2,4 pts de PIB en 2030 et de 0,1 pt de PIB en 2050.

Une utilisation des recettes générées par le surplus de fiscalité sur les produits carbonés, en France et à l'étranger, sous forme de transferts forfaitaires aux ménages contribuerait à limiter ces effets récessifs à court-moyen terme. Ce mode d'utilisation des recettes soutiendrait la demande adressée à la France, stimulant les exportations et l'investissement. Toutefois, ce surplus de demande mondiale auquel l'appareil productif ne peut répondre immédiatement limiterait les pressions déflationnistes causées par le rehaussement du prix du carbone, donc la réaction à la baisse des taux d'intérêt. À l'inverse, une baisse simultanée des cotisations sociales dans le monde entier annule en grande partie les effets attendus sur la compétitivité pour chacun d'entre eux, dont la France. À long terme, la hausse contenue du coût du travail amplifierait l'effet déflationniste issu de la moindre demande mondiale en pétrole, conduisant à une baisse plus marquée des taux d'intérêt et soutenant finalement l'investissement.

⁹⁵ Modèle REMIND-MAgPIE 3.3-4.8. Cf. Network for Greening the Financial System (2024), « [Climate Scenarios for central banks and supervisors - Phase V](#) ».

⁹⁶ La transition énergétique demandera plus d'efforts aux États-Unis qu'à la zone euro, ce qui induirait une baisse structurelle de l'activité des États-Unis par rapport à la zone et une appréciation de l'euro vis-à-vis du dollar.

GRAPHIQUE 7
Impact de la hausse du prix du carbone dans le monde sur l'activité française

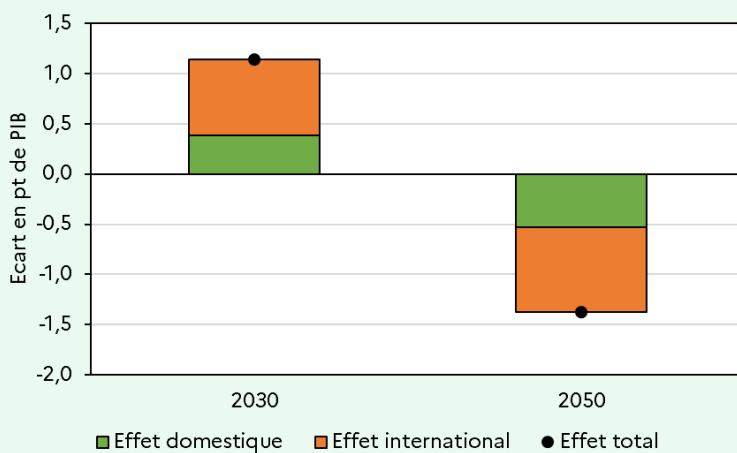


Sources : SNBC 2 et AIE ; calculs DG Trésor à l'aide des modèles Mésange et d'Oxford Economics.

Note : L'effet domestique correspond à l'évaluation avec Mésange d'une hausse du prix du carbone en France sans utilisation des recettes carbone (cf. partie 2.2.1). L'effet international correspond à l'évaluation avec le bouclage des modèles Mésange et Oxford Economics d'une hausse du prix du carbone dans le monde. Les résultats avec utilisation des recettes (par transferts aux ménages et par baisse de cotisations sociales) tiennent compte des effets domestiques et internationaux.

D'autre part, le surcroît d'investissements dans les pays tiers amplifierait le choc de demande positif lié aux investissements en France. Ce choc mondial soutiendrait l'activité et l'emploi par les effets multiplicateur et accélérateur dans chaque pays, augmentant la demande mondiale adressée à la France. Toutefois, les tensions sur l'appareil productif mondial pourraient accroître l'inflation, pouvant conduire à une réponse des banques centrales. L'augmentation des taux d'intérêt qui en découlerait obèreraient la croissance de l'activité à moyen-long terme. La prise en compte du financement des investissements supplémentaires en décarbonation neutraliserait également une partie de leurs effets positifs sur l'activité. Au niveau agrégé, la hausse des investissements liée à la décarbonation provoquerait une hausse de l'activité française de 1,1 pt de PIB en 2030, mais une baisse de l'activité de 1,5 pt de PIB en 2050.

GRAPHIQUE 8
Impact de la hausse de l'investissement dans le monde sur l'activité française



Sources : SNBC 2 et AIE ; calculs DG Trésor à l'aide des modèles Mésange et Oxford Economics.

Note : L'effet domestique correspond à l'évaluation avec Mésange d'une hausse des investissements en France, nets du financement et du surcoût (voir parties 2.3, 2.4 et 2.5). L'effet international correspond à l'évaluation avec le bouclage des modèles Mésange et Oxford Economics d'une hausse des investissements dans le monde, nets du financement.

En outre, l'accomplissement d'une transition ordonnée dans tous les pays permettra d'éviter des dommages économiques liés au changement climatique. La réduction des dommages climatiques permise par l'atteinte de la neutralité carbone dans le monde implique un effet net positif pour l'économie française dès le début des années 2040, et des gains économiques encore plus importants à long terme (environ 6 pts de PIB de dommages évités en 2050 selon le NGFS).

TABLEAU 3

Synthèse des impacts sur l'activité française de la transition vers la neutralité carbone en France (hors bouclage international) et du changement climatique (écart en pt de PIB)

Choc du prix du carbone sans utilisation des recettes carbone		Choc du prix du carbone avec transfert aux ménages/baisse des cotisations sociales		Choc d'investissements nets financé, avec surcoûts		Dommages du changement climatique évités (2050)		
2030	2050	2030	2050	2030	2050	5 ^{ème}	Médiane	95 ^{ème}
-0,9	-0,5	-0,6/+0,5	-0,6/0,0	+0,4	-0,5	+5	+6	+7

TABLEAU 4

Synthèse des impacts sur l'activité de l'UE et du monde de la transition énergétique dans le monde (hors surcoût des investissements) et du changement climatique (écart en pt de PIB)

Scénario	Région	Choc du prix du carbone sans utilisation des recettes carbone		Choc du prix du carbone avec transfert aux ménages/baisse des cotisations sociales		Choc d'investissements nets financé par les ménages ⁹⁷		Dommages du changement climatique évités (2050)		
		2030	2050	2030	2050	2030	2050	5 ^{ème}	Médiane	95 ^{ème}
NZ	Monde	-1,8	-1,5	-1,2/-1,8	-1,8/-1,4	+0,4	+0,7	+2	+9	+18
	UE	-0,7	+0,2	-0,2/-0,7	0,0/+0,2	-0,2	+0,4	-1	+6	+15
CDN	Monde	-1,3	-1,1	-0,9/-1,2	-1,3/-1,0	+0,2	+0,4	+1	+4	+7
	UE	-0,6	+0,1	-0,2/-0,6	0,0/+0,1	-0,1	+0,4	-0	+2	+5
UE-seule	Monde	-0,0	-0,0	0,0/0,0	-0,1/-0,1	0,0	0,0	Non estimé		
	UE	-0,1	-0,4	-0,1/-0,1	-0,4/-0,4	+0,1	+0,4	Non estimé		

Note : Les estimations des coûts des dommages du changement climatique proviennent du NGFS⁹⁸ et tiennent compte de la réduction des émissions non énergétiques (agriculture, procédés industriels notamment); tandis que les estimations d'impact des politiques de transition n'incluent que le champ énergétique, soit 68 % des émissions mondiales. Il existe une forte incertitude quant à l'ampleur des effets négatifs des hausses de températures sur l'activité (ou dommages climatiques). Le tableau présente donc les dommages climatiques qui correspondent aux 5^{ème}, 50^{ème} (médiane) et 95^{ème} percentiles des projections des dommages. Ces projections sont obtenues à partir de la projection médiane de température en fonction des émissions de GES dans chaque scénario.

⁹⁷ Les résultats ne sont pas directement comparables au Tableau 3 car l'analyse ne prend pas en compte les effets de la transition sur la productivité exposés dans la section 2.2.5. Les résultats diffèrent aussi en raison du périmètre étudié (transition écologique vs énergétique) et des modèles utilisés (Mésange vs Oxford Economics).

⁹⁸ NGFS (2024), op. cit.

3 La transition vers la neutralité carbone doit être pensée dans un contexte mondial

Messages clés

Les émissions de gaz à effet de serre constituent une externalité négative mondiale, ce qui appelle une réponse coordonnée au niveau international.

- L'Accord de Paris constitue une réponse mondiale au changement climatique. Il laisse chaque pays libre de déterminer sa contribution aux réductions d'émissions mais permet une dynamique d'émulation en fixant un objectif de limitation du réchauffement climatique nettement sous 2°C, et si possible à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et en créant un système de suivi des efforts collectifs.
- L'Union européenne (UE) a adopté en contribution à l'Accord de Paris sa cible de -55 % d'émissions nettes en 2030 par rapport à 1990 et de neutralité climatique en 2050. Elle doit adopter en 2025 un nouvel objectif à horizon 2035.
- En plus de son propre effort climatique, la France est mobilisée pour que les cibles et actions de réduction d'émissions de tous les pays soient les plus ambitieuses possibles. Dans cette perspective, la France fournit notamment des financements permettant aux pays en développement de se décarboner et s'adapter aux effets du changement climatique. Ses financements ont participé à l'atteinte depuis 2022 de l'objectif collectif de 100 Md\$ par an de finance climat fournie par les pays développés aux pays en développement.

L'intégration commerciale et financière entre économies a des répercussions sur les efforts de décarbonation.

- Les liens entre commerce international et transition climatique ne sont pas univoques. D'une part, le commerce international peut faciliter l'accès aux biens et technologies bas-carbone à travers le monde, réduisant par-là les coûts de la transition. D'autre part, le commerce international contribue directement aux émissions de gaz à effet de serre, notamment car il accroît la production et le transport de biens.
- En raison de l'intégration des économies, les écarts d'ambition des politiques climatiques peuvent générer un risque de fuites de carbone, ceux-ci pouvant se traduire par des écarts substantiels d'incitation à décarboner et par une substitution de la production locale par des importations.

En l'absence d'un prix du carbone mondial, des prix différenciés par pays ou zone géographiques, notamment couplés avec des mécanismes d'ajustement carbone aux frontières (MACF), sont des instruments de politique climatique pertinents.

- Un prix du carbone mondial serait l'instrument le plus efficace, mais sa mise en œuvre à court terme reste peu probable.
- La tarification du carbone dans le monde progresse, avec 24 % des émissions mondiales couvertes en 2024, mais reste insuffisante en niveau et périmètre. Les écarts de tarification persistent et pourraient même s'amplifier.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- De façon pragmatique, des prix du carbone différenciés entre pays avec des ajustements carbone aux frontières pour éviter les fuites de carbone permettent d'atteindre efficacement les objectifs climatiques.
- Une mise en œuvre ambitieuse du MACF constitue, pour l'Union européenne, en complément de son marché carbone, une réponse efficace au risque de fuites de carbone. Sa mise en œuvre progressive permettra de conduire des évaluations afin de renforcer cette efficacité.

L'absence de coordination et de coopération internationale, notamment en matière commerciale, serait préjudiciable à une transition ordonnée et à son acceptabilité.

- Certains exportateurs de biens nécessaires à la transition se livrent à des pratiques de dumping ou bénéficient de subventions ayant des effets de distorsion.
- Si les prix artificiellement bas qui en découlent permettent de financer à coût plus réduit la transition, ce comportement fait peser un risque sérieux sur l'industrie européenne et les emplois qui en dépendent.
- Face à la tentation de mettre en place des mesures protectionnistes en réaction, ce qui reviendrait à fragmenter l'action climatique, il est nécessaire de défendre une bonne application des règles du commerce international aux biens et services environnementaux, en luttant contre les mesures protectionnistes et en rétablissant des conditions de concurrence équitable (avec des mesures de défense commerciale notamment) chaque fois que pertinent.

3.1 L'Accord de Paris encourage chaque pays à renforcer progressivement ses politiques climatiques

Les émissions de gaz à effet de serre constituent une externalité négative mondiale, ce qui appelle une réponse coordonnée. L'Accord de Paris, qui est entré en vigueur le 4 novembre 2016, s'inscrit dans une approche volontaire, à plusieurs niveaux (mondial, national, infranational)⁹⁹. Il permet une participation quasiment universelle, chaque État déterminant la contribution qu'il estime juste. Le bilan mondial, établi tous les cinq ans, permet de faire le point sur l'ambition des contributions nationales et incite à les rehausser pour atteindre l'objectif de long terme de l'Accord de limiter la hausse de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2°C et de poursuivre les efforts pour la limiter à 1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels. Cela implique un plafonnement des émissions dès 2025, puis des émissions nettes nulles ou négatives au cours de la seconde moitié du siècle¹⁰⁰ (cf. Graphique 1). 148 pays, couvrant 88 % des émissions mondiales, ont adopté une cible de neutralité climatique¹⁰¹, à horizon 2050 pour la plupart (notamment la France, l'Union européenne, le Royaume-Uni), 2060 pour la Chine, 2070 pour l'Inde¹⁰². De plus, les pays développés se sont engagés à mobiliser chaque année, de 2020 à 2025, 100 Md\$ par an de financements climat en faveur des pays en développement. À horizon 2035, un nouvel objectif de 300 Md\$ par an a été décidé lors de la COP29 en novembre 2024. La France en tant que signataire de l'Accord de Paris est tenue à ses engagements à la fois en matière de réduction d'émissions et de contribution à l'aide financière.

⁹⁹ Direction Générale du Trésor (2016), [Analyse économique de l'Accord de Paris](#), Trésor-Eco n°187

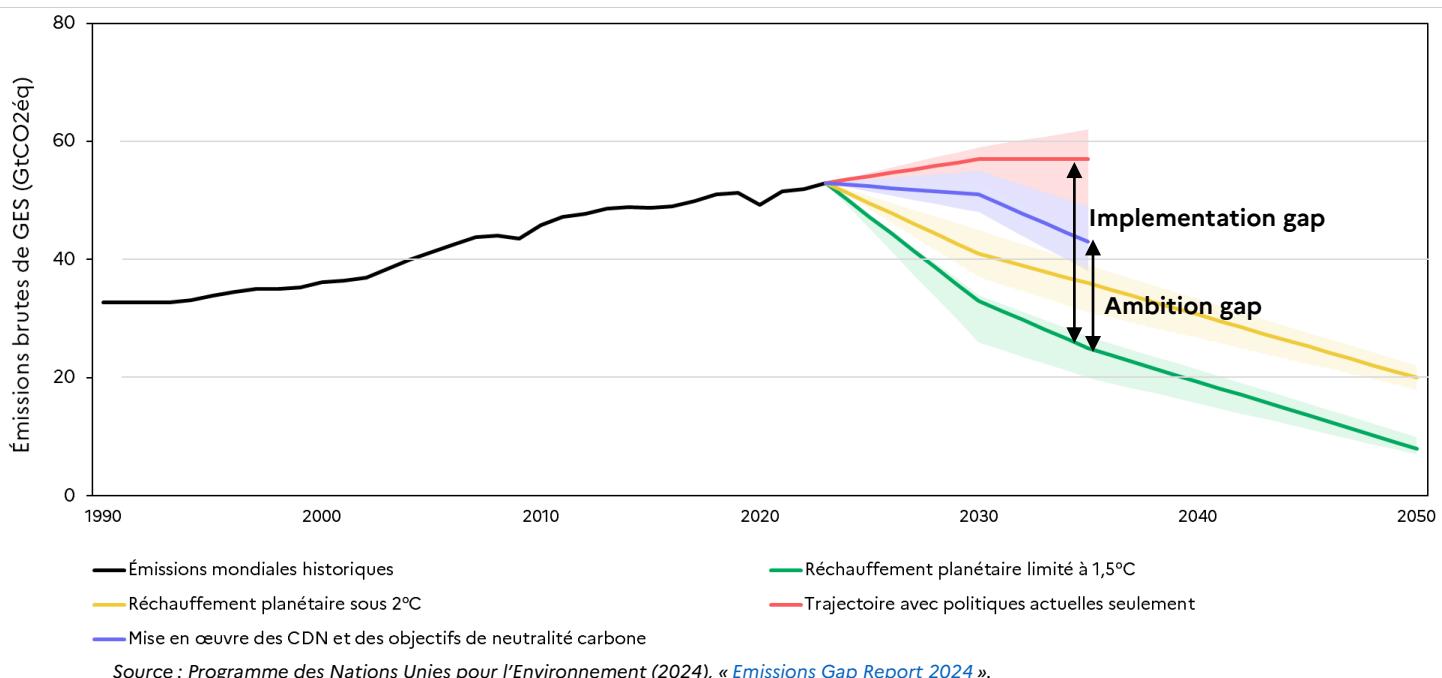
¹⁰⁰ Cf. par exemple le GIEC, [FAQ Chapitre 4](#)

¹⁰¹ C'est-à-dire un état où un équilibre est atteint entre les émissions de gaz à effet de serre produites par les activités humaines et leur absorption par des puits de carbone naturels ou artificiels.

¹⁰² Net Zero Tracker, [Data Explorer](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

GRAPHIQUE 1 – Émissions mondiales de gaz à effet de serre selon plusieurs scénarios d'action climatique



ENCADRÉ 1

Répartition de l'effort de réduction d'émissions

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estime régulièrement le budget carbone restant pour limiter le réchauffement des températures mondiales à +1,5°C ou +2°C, relativement au niveau préindustriel. La répartition de ce budget mondial entre les différents pays implique différents niveaux d'efforts de décarbonation. Dans le cadre de l'Accord de Paris, cette répartition se fait sur une base volontaire par les contributions déterminées au niveau national (CDN). Celles-ci sont actualisées tous les cinq ans : en amont de la COP30 en 2025, les pays signataires de l'Accord de Paris sont invités à publier des CDN à horizon 2035. Ces CDN, tout comme les dates cibles d'atteinte de la neutralité carbone, soulèvent cependant la question de la juste répartition des efforts et de l'appréciation d'une ambition climatique suffisante. L'Accord de Paris n'impose aucune notion de juste contribution. Il appartient à chaque partie de la déterminer. Néanmoins la littérature présente deux logiques¹⁰³ qui visent à informer cette décision :

- Une logique de **faisabilité et d'efficience** qui repose sur l'identification des capacités de réduction d'émission dans chaque pays et leurs coûts (cf. Encadré 3). Des études estiment ainsi la répartition à moindre coût des réductions d'émissions par pays pour une réduction globale donnée¹⁰⁴.

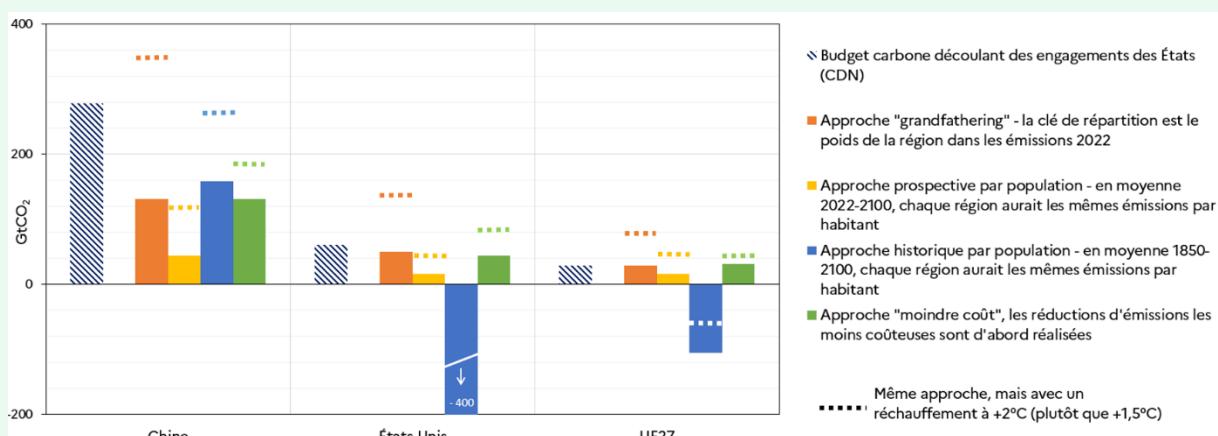
¹⁰³ Pan et al. (2023), « [Understanding equity–efficiency interaction in the distribution of global carbon budgets](#) », Advances in Climate Change Research.

¹⁰⁴ Hooijer et al. (2023) « [Analysis Of Cost-Effective Reduction Pathways For Major Emitting Countries To Achieve The Paris Agreement Climate Goal](#) », rapport du PBL, Agence d'Évaluation Environnementale Néerlandaise.

- Une logique d'**équité**, qui consiste à déterminer des clés de répartition équitables pour diviser le budget carbone restant. Ces clés de répartition peuvent par exemple être fondées sur un principe de conservation des parts d'émissions actuelles, sur un principe de convergence des émissions par habitant, ou d'égalité des émissions par habitant sur une certaine période, qui peut être future ou inclure aussi le passé.

Le Graphique 2 illustre la répartition du budget carbone en fonction d'approches découlant des logiques décrites ci-dessus, et montre la diversité des répartitions possibles. Certaines conclusions sont communes à l'ensemble de ces approches, notamment la nécessité pour la Chine, les États-Unis et l'UE d'augmenter leur niveau d'ambition pour limiter le réchauffement à 1,5°C. L'UE a déjà annoncé lors de la COP29 vouloir soumettre une nouvelle contribution cohérente avec les trajectoires de réduction du GIEC, et qui implique une trajectoire de réduction d'émissions au moins aussi rapide qu'une ligne droite vers la neutralité climatique en 2050¹⁰⁵.

GRAPHIQUE 2 – Comparaison illustrative entre les budgets carbone (i) extrapolés des engagements des États et (ii) issus de quatre exemples de clés de répartition



Sources : répartitions CDN et par clé d'émission ou population : Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), UN World Population Prospects 2024, Sloover et al (2023) ; répartition « moindre coût » : Climate Action Tracker (2024). Calculs : DG Trésor

Lecture : le budget carbone sous-jacent à la CDN américaine s'élèverait à environ 60 GtCO₂éq. Une répartition du budget carbone mondial restant selon une approche « grandfathering » leur attribuerait 50 GtCO₂éq pour un scénario de réchauffement à +1,5°C, et 135 GtCO₂éq pour un scénario à +2°C.

La France contribue de façon importante à la finance climat en faveur des pays en développement (cf. Krakovitch et al.¹⁰⁶, 2024). Lors du 5^{ème} anniversaire de l'Accord de Paris, en 2020, la France s'est engagée à fournir, chaque année et jusqu'en 2025, au moins 6 Md€ de financements climatiques aux pays en développement, contribuant ainsi à l'objectif de 100 Md\$ par an. Ces objectifs ont été atteints et dépassés en 2021 (6,1 Md€), en 2022 (7,6 Md€) et en 2023 (7,2 Md€) au niveau français. En ce qui concerne l'engagement collectif des pays développés de mobiliser 100 Md\$ par an de 2020 à 2025 pour les pays en développement, il a été atteint et dépassé en 2022 (115,9 Md\$ comptabilisés par l'OCDE)¹⁰⁷. La France est considérée par le think tank ODI¹⁰⁸ comme l'un des pays prenant sa juste part à cet engagement. Ces financements

¹⁰⁵ [COP29: Joint Press Release on 1.5°C-Aligned Ambition in NDCs Toward Net Zero - European Commission](#)

¹⁰⁶ Krakovitch N., P. Marc, V. Seignez (2024) ["La finance climat publique française vers les pays en développement : état des lieux et enjeux", Trésor Eco N° 353.](#)

¹⁰⁷ [Financement climatique fourni et mobilisé par les pays développés en 2013-2022](#), OCDE, Mai 2024.

¹⁰⁸ Dans son rapport annuel « A fair share of climate finance », ODI évalue l'effort financier de chaque pays contributeur au regard de 3 paramètres : revenu, population et émissions cumulées entre 1990 et 2020. La France est classée 2^{ème} en 2023.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

proviennent principalement de l'Agence française de développement (AFD), banque pionnière pour l'intégration du climat dans son action. Dès 2012, l'AFD s'est fixé un objectif de 50 % de co-bénéfices climat sur son portefeuille d'activités, un objectif qui a été étendu depuis 2017 à l'ensemble du groupe, y compris Proparco, sa branche proposant des financements au secteur privé. Cette même année, l'AFD s'est engagée à ce que 100 % de son activité soit compatible avec l'Accord de Paris, un engagement qui l'a notamment conduite à sortir rapidement et complètement du secteur des énergies fossiles. Hors AFD, la finance climat de la France transite essentiellement par les banques multilatérales de développement ou des fonds multilatéraux spécialisés, dont elle constitue l'un des principaux contributeurs. Enfin la France a participé activement aux négociations de la COP29 qui ont débouché sur un accord pour un nouvel objectif de 300 Md\$ à horizon 2035, remplaçant la cible de 100 Md\$ à compter de 2026. À la différence de cette dernière, le nouvel objectif comptabilise les financements issus des banques multilatérales de développement attribuables aux pays en développement et leur donne la possibilité de comptabiliser leurs financements bilatéraux.

La France joue également un rôle moteur dans la réorientation du secteur des énergies fossiles vers celui des activités durables via les financements exports publics (cf. Encadré 2).

ENCADRÉ 2

Réorientation des financements du secteur des énergies fossiles vers celui des activités durables via les financements exports publics

- **En France, l'arrêt du soutien export aux projets du secteur du charbon et aux projets de recherche et d'exploitation d'hydrocarbures non conventionnels a été inscrit dans la loi dès 2019.** Les efforts ont été poursuivis en 2020 avec l'arrêt du soutien export aux projets de centrales électriques thermiques qui dégradent l'intensité carbone du mix électrique local. Puis, en cohérence avec les engagements internationaux pris par la France en 2021¹⁰⁹, **l'ensemble des activités de recherche, d'exploitation et de production de pétrole et gaz ont été exclues de tout soutien export à compter du 1^{er} janvier 2023.**
- **Ces mesures ont été accompagnées d'une action forte à l'international.** La France a impulsé la création de la coalition Export Finance for Future (E3F) en avril 2021 dont les principes ont été repris dans les conclusions adoptées par le Conseil de l'UE en 2022¹¹⁰, qui engagent tous les États membres à adopter avant fin 2023 une feuille de route nationale de cessation du soutien public export à toutes les activités du secteur des énergies fossiles. Cette impulsion a permis à la Commission européenne de porter une position ambitieuse dans les négociations entre les Participants à l'Arrangement OCDE sur les crédits à l'exportation, qui ont abouti à l'adoption en juillet 2023 d'une définition partagée au niveau multilatéral des projets contribuant à l'atténuation ou à l'adaptation au changement climatique et pouvant bénéficier de conditions financières améliorées. Enfin, la France soutient la proposition de la

¹⁰⁹ La France a signé lors de la COP26 la déclaration sur le soutien public international pour la transition énergétique (CETP), avec 38 autres États et institutions internationales, engageant les signataires à mettre un terme à tout soutien public international aux projets dans le secteur des énergies fossiles sans atténuation des émissions de gaz à effet de serre dès la fin 2022.

¹¹⁰ Les 10 membres de E3F sont l'Allemagne, Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la Suède et le Royaume-Uni.

Commission européenne visant à interdire le soutien au secteur des énergies fossiles dans le cadre de l'Arrangement OCDE pour le Crédit-export.

- **La réorientation des financements export publics est manifeste pour les membres de la coalition E3F¹¹¹.** Conséquence de cette mobilisation internationale, la part des transactions liées aux énergies fossiles des participants de la coalition E3F est en déclin depuis la signature de l'Accord de Paris en 2015. La baisse est encore plus marquée depuis 2021, suite à la signature de la Déclaration de Glasgow sur la fin du soutien officiel au secteur de l'énergie fossile non atténuée. Elle est passée de 69 % des nouvelles transactions énergétiques en 2015 (5,7 Md€) à 13% en 2023 (1,1 Md€) tandis que le volume de financement de projets durables augmente de manière continue, passant de 2,8 Mds€ en 2015 à 13,6 Mds€ en 2023. Le volume du soutien aux énergies renouvelables dans le portefeuille de la coalition E3F (37,7 Md€ en cumul sur la période 2015-2023) dépasse désormais le montant total des transactions liées aux énergies fossiles (35,8 Md€). Le soutien à l'export public français représente 10 % du volume global des transactions de la coalition E3F entre 2015 et 2023 (soit 26,2 Md€). Près d'un quart de ce volume total correspond à des projets durables (6,6 Md€) contre moins de 7 % (1,8 Md€) pour le secteur des énergies fossiles.

3.2 Le renforcement de la tarification du carbone dans le monde et les mécanismes d'ajustement carbone aux frontières constituent des instruments efficaces pour réduire les émissions et prévenir les fuites de carbone

La tarification du carbone, qui progresse dans le monde, permet de réduire les émissions mondiales de façon coût-efficace. Les organisations internationales (GIEC¹¹², FMI¹¹³, Banque mondiale¹¹⁴, OCDE¹¹⁵) et économistes¹¹⁶ soulignent que la mise en place d'un prix du carbone dans le monde est un instrument important pour atteindre la neutralité carbone de façon coût-efficace. Un prix mondial serait en principe l'instrument le plus pertinent afin (i) d'assurer l'efficacité des politiques mises en place au niveau national, (ii) d'éviter les fuites de carbone liées aux différences de prix du carbone (cf. Chapitre 8). De plus en plus de juridictions mettent en place une tarification du carbone : 75 instruments (taxes portant explicitement sur le carbone ou marchés carbone) sont recensés en 2024, couvrant 24 % des émissions mondiales, contre 5 % en 2010¹¹⁷. Le périmètre et le niveau de tarification du carbone actuels restent néanmoins insuffisants : 70 % des émissions couvertes par la tarification carbone dans le monde le sont à un

¹¹¹ Cf. le [Rapport de Transparence 2024](#) de la coalition E3F.

¹¹² Cf. par exemple : Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., ... & Zickfeld, K. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5 C in the context of sustainable development. In Global warming of 1.5 C (pp. 93-174). Intergovernmental Panel on Climate Change.

¹¹³ Cf. par exemple : International Monetary Fund (IMF). (2023). Fiscal Monitor: Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World.

¹¹⁴ Cf. par exemple : Banque Mondiale (2021). Plan d'Action sur le Changement Climatique 2021-2025 : Soutenir un Développement Vert, Résilient et Inclusif.

¹¹⁵ Cf. par exemple : Errendal, S., Ellis, J., & Jeudy-Hugo, S. (2023). The role of carbon pricing in transforming pathways to reach net zero emissions: Insights from current experiences and potential application to food systems. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) Environment Working Papers, n° 220.

¹¹⁶ Cf. par exemple : Blanchard, O., & Tirole, J. (2021). Les grands défis économiques. Rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole, 23, 301.

¹¹⁷ Banque Mondiale (2024), [State and Trends of carbon pricing](#).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

prix inférieur à 20 €/tCO₂éq¹¹⁸, alors qu'un prix compris entre 60 et 125 €/tCO₂éq au niveau mondial en 2030 serait nécessaire pour être cohérent avec les objectifs de l'Accord de Paris¹¹⁹, créant un « déficit de mise en œuvre », selon le FMI¹²⁰.

Malgré ces évolutions, les écarts de niveaux de tarification du carbone entre régions se creusent, ce qui pose un risque croissant de fuites de carbone¹²¹. L'Union européenne, en particulier, a mis en place une tarification du carbone qui couvre actuellement 38 % de ses émissions, proportion qui devrait être étendue à 73 %¹²². Un écart de prix du carbone entre régions connectées économiquement (par le commerce, les investissements notamment) suscite des fuites de carbone, ce qui n'est ni souhaitable, ni efficace en termes climatiques et économiques.

Un prix du carbone mondial uniforme contribuerait à prévenir le risque de fuites de carbone mais sa mise en place paraît peu probable à court et moyen terme; un prix plancher serait une première étape. De façon pragmatique, une approche de coopération multilatérale permettant de s'orienter vers un prix plancher mondial du carbone serait une première étape vers la mise en place d'un prix international du carbone. Le FMI¹²³ propose par exemple la mise en place de prix planchers différenciés selon le niveau de développement, de 75 \$/tCO₂éq pour les pays avancés, 50 \$/tCO₂éq pour les pays émergents à haut revenu et 25 \$/tCO₂éq pour les pays émergents à bas revenu. Cela permettrait de réduire les émissions mondiales de près de 30 % par rapport au scénario de référence en 2030. Cette proposition de prix planchers différenciés ne suffirait cependant pas à résoudre le problème des fuites de carbone, dans la mesure où des différences de tarification du carbone subsisteraient, certains pays étant déjà bien au-delà des prix planchers préconisés. Par ailleurs, les prix différenciés proposés par le FMI ne sont pas déterminés en tenant compte des coûts d'abattement marginaux, ce qui est sous-optimal en termes d'efficacité économique¹²⁴ (cf. Encadré 3 - Comparaison internationale des coûts d'abattement).

¹¹⁸ Banque Mondiale (2024), op. cit.

¹¹⁹ Stiglitz, J. E., Stern, N., Duan, M., Edensofer, O., Giraud, G., Heal, G. M., ... & Winkler, H. (2017). Report of the high-level commission on carbon prices; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Network for Greening the Financial System (NGFS). (2022). Climate scenarios for central banks and supervisors; OECD (2024). Pricing Greenhouse Gas Emissions 2024.

¹²⁰ FMI (2024) « [Sleepwalking to a Cliff Edge: A Wake-Up Call for Global Climate](#) », Staff Climate Note.

¹²¹ L'Heudé W., M. Chailloux, X. Jardi (2021) « [Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne](#) », Trésor Eco n° 280.

¹²² European Scientific Advisory Board on Climate Change (2024) « [Towards EU climate neutrality, Assessment Report 2024](#) ».

¹²³ FMI (2021), [Proposal for an International Carbon Price Floor Among Large Emitters](#) et FMI (2022), [Economic and Environmental Benefits from International Cooperation on Climate](#).

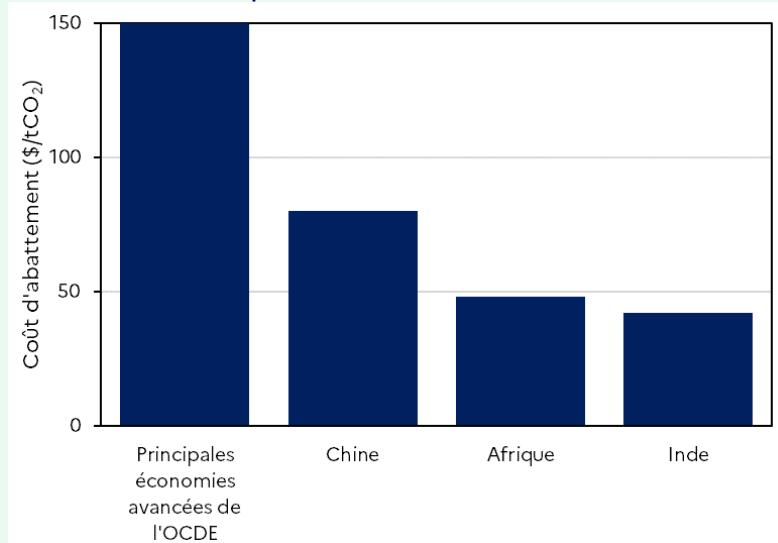
¹²⁴ Bouët, A., Perego, E., Vicard, V., Fouquet, M., Godzinski, A., Ghersi, F., Jean, S., L'Heudé, W. & Tripier, F. (2023). « [Les incidences économiques de l'action pour le climat : Compétitivité](#) ». France Stratégie.

ENCADRÉ 3

Comparaison internationale des coûts d'abattement

Les coûts de réduction des émissions sont généralement plus faibles dans les pays en développement que les économies avancées (cf. Graphique 3). En effet, de nombreux leviers coût-efficaces déjà mis en œuvre dans les économies avancées (notamment la décarbonation de la production d'électricité) n'y ont pas encore été mis en place, entre autres du fait d'une tarification effective du carbone plus faible. Au sein des pays développés, les estimations sont incertaines et les comparaisons entre les pays diffèrent selon les modèles.

GRAPHIQUE 3
Coût d'abattement marginal dans différents pays
d'après le modèle CPAT du FMI



Source : FMI, modèle CPAT ; Black, de Mooij, Gaspar, Parry, Zhunussova (2024) [Fiscal Implications of Global Decarbonization](#). Les coûts d'abattement sont tronqués à 150 €/tCO₂ et de nombreuses économies auraient des coûts d'abattement supérieurs à cette valeur.

La finance climat, par laquelle les pays développés financent l'atténuation et l'adaptation dans les pays en développement permet de tirer parti de ces différences de coût de réduction des émissions. Bien qu'elle s'inscrive avant tout dans un objectif de solidarité, la finance climat contribue également à une plus grande efficacité des réductions d'émissions à l'échelle mondiale.

Les coûts de la décarbonation complète, prévue à horizon 2050 pour la plupart des économies avancées, sont très incertains. Ils dépendront de la disponibilité des puits de carbone, du coût des émissions négatives, et de la quantité d'émissions résiduelles. Le Graphique 3 représente le coût marginal d'abattement, c'est-à-dire le coût de baisser les émissions à la marge relativement à leur niveau actuel. Il n'éclaire pas sur le coût des transformations profondes nécessaires pour atteindre la neutralité carbone.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

L'impératif de décarbonation nécessite d'articuler les politiques commerciales et climatiques pour limiter le risque de fuites de carbone et le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) est une réponse efficace à ce risque. Face au risque de fuites de carbone dans un contexte d'économies intégrées, la tentation pourrait exister de mettre en place des mesures protectionnistes destinées à réduire les importations en provenance de pays-tiers dont la tarification carbone est insuffisante. Elles pourraient prendre plusieurs formes, que ce soit directement, par le biais d'une hausse de droits de douane, ou, indirectement, par des politiques industrielles favorables à la production locale (subventions, exigences réglementaires, etc.). Le recours à de telles mesures est problématique. Par exemple, une hausse générale des droits de douane présenterait des coûts économiques importants pour un impact limité sur les émissions de gaz à effet de serre (cf. Encadré 6)¹²⁵.

Une réponse plus efficace et ciblée pour réduire le risque de fuite de carbone consiste à étendre la tarification carbone européenne, en miroir, aux importations de certains produits en provenance des pays où la tarification carbone est plus faible. Cette approche a un potentiel de réduction des fuites de carbone et des émissions bien plus important, pour un coût économique modéré (cf. Encadré 4). Elle se matérialise par l'adoption du MACF, en complément de l'ETS européen, qui vise précisément à appliquer en miroir de la tarification carbone européenne une tarification carbone sur les importations de certains produits très émissifs. Ce mécanisme est en cours de déploiement depuis octobre 2023, pour une montée en charge pleine d'ici 2034. Il sera évalué régulièrement et pourra être renforcé le cas échéant (cf. Encadré 4). La tarification du carbone sur les importations permet d'inciter les producteurs étrangers à décarboner leurs processus de production. Le fait que le MACF prenne en compte l'éventuelle tarification carbone déjà en place dans les pays tiers ainsi que l'effet des autres types de politiques d'atténuation (réglementations, subventions) sur le contenu carbone des produits couverts peut inciter les pays tiers à introduire et renforcer la tarification du carbone et d'autres types de politiques d'atténuation, et cela est déjà observé. Plusieurs autres juridictions ont ainsi annoncé, ou envisagent, mettre en œuvre leur propre MACF, notamment le Royaume-Uni à compter de 2027¹²⁶, les États-Unis¹²⁷, le Canada¹²⁸, l'Australie¹²⁹ et Taïwan¹³⁰. Enfin, le MACF est conçu pour être compatible avec les engagements internationaux de la France et de l'Union européenne, en particulier, les règles de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), condition nécessaire pour préserver les gains économiques permis par le commerce international et améliorer l'acceptabilité du mécanisme par les partenaires commerciaux de l'UE, en lien avec l'impact du mécanisme sur leur économie (cf. Encadré 5).

¹²⁵ Dans une note du CAE, [Fontagné et Fouré \(2017\)](#) montrent à l'aide d'un modèle d'équilibre général que la mise en place de droits de douane uniforme afin de limiter la croissance du commerce entraînerait une baisse des émissions de CO2 de -3,5 % à horizon 2030 (via la baisse de l'activité et du transport) et une perte de PIB mondial de -1,8 % à horizon 2030 par rapport à un scénario central sans mesures commerciales.

¹²⁶ HM Treasury et Department for Energy Security and Net Zero. (2023). "Consultation outcome : Addressing carbon leakage risk to support decarbonisation". <https://www.gov.uk/government/consultations/addressing-carbon-leakage-risk-to-support-decarbonisation>

¹²⁷ Gangotra, A., Carlsen, W., & Kennedy, K. (2023). 4 US Congress Bills Related to Carbon Border Adjustments in 2023.

¹²⁸ Canada Department of Finance. (2023). Exploring Border Carbon Adjustments for Canada. <https://www.canada.ca/en/department-finance/programs/consultations/2021/border-carbon-adjustments/exploring-border-carbon-adjustments-canada.html>

¹²⁹ Australian Government Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (DCCEEW). (2023). Australia's Carbon Leakage Review. <https://www.dcceew.gov.au/climate-change/emissions-reduction/review-carbon-leakage>

¹³⁰ Thomson, J. (October 14, 2024). "Taiwan government to discuss local version of CBAM". Taiwan News. <https://www.taiwannews.com.tw/news/5951674>

ENCADRÉ 4

Prévenir efficacement les fuites de carbone dans le cadre du renforcement de l'ETS et de la mise en œuvre du MACF

Le MACF est une pierre angulaire de la politique climatique européenne, complémentaire à l'ETS. Ce mécanisme consiste à étendre la tarification carbone européenne, en miroir, aux importations de certains produits très émetteurs en provenance des pays tiers. Le MACF rend le rehaussement de l'ambition climatique de l'Union européenne crédible, dans un contexte de différentiel d'ambition et d'action accru avec les autres régions du monde, en particulier en matière de tarification du carbone. Cet outil va permettre à l'Union européenne de lutter plus efficacement contre les fuites de carbone dans un cadre compatible avec les règles de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et ainsi contribuer à la baisse de ses émissions territoriales et son empreinte carbone, en rendant possible le renforcement du signal-prix du carbone.

Le MACF est entré en vigueur le 31 octobre 2023 dans le cadre d'une période de transition jusqu'à fin 2025. La phase de transition fonctionne sans ajustement financier sur les importations ni baisse des quotas gratuits de l'ETS mais avec des obligations de rapportage des émissions des produits importés couverts par le MACF. Le MACF couvre six secteurs pilotes fortement exposés aux fuites de carbone (fer et acier, aluminium, ciment, fertilisants, hydrogène, électricité), certains de leurs précurseurs et une vingtaine de produits de l'aval « proche », c'est-à-dire contenant près de 100 % d'acier et/ou d'aluminium (tubes, tuyaux, réservoirs, vis, boulons, etc.). En s'appliquant à un périmètre de biens homogènes, le calcul des émissions est ainsi simplifié. Le MACF couvre les émissions directes (liées aux processus de production) des biens importés de ces secteurs ainsi que les émissions indirectes (liées à la consommation d'électricité dans les processus de production) pour les secteurs du ciment et des fertilisants.

Pendant la phase de transition, une évaluation exhaustive est prévue. Elle permettra d'analyser le fonctionnement du mécanisme pendant cette période de transition, sa gouvernance, ses effets sur l'économie européenne, les flux commerciaux et les pays tiers (notamment les pays les moins avancés). Elle permettra également d'étudier l'opportunité d'élargir le périmètre à d'autres secteurs et biens, en particulier les biens en aval de la chaîne de valeur et les secteurs des services de transports et ceux de services exposés au risque de fuites de carbone. Elle permettra enfin d'évaluer l'opportunité d'inclure les émissions indirectes pour l'ensemble des secteurs et d'analyser le risque de fuites de carbone à l'export et le risque de contournement du mécanisme. Cette évaluation pourra donner lieu à une révision du mécanisme afin de renforcer sa capacité à prévenir efficacement les fuites de carbone. Des évaluations biennales seront ensuite conduites sur ces mêmes sujets.

À l'issue de la période de transition, il est prévu que l'ajustement financier du MACF sur les biens importés monte progressivement en charge en parallèle de la suppression des quotas gratuits des secteurs concernés, sur une période de 9 ans de 2026 à 2034. Le niveau de l'ajustement financier prendra en compte les quotas gratuits résiduels afin d'assurer qu'un prix du carbone équivalent soit payé par les producteurs européens et les producteurs de pays tiers. Il prendra également en compte les politiques de tarification carbone explicites des pays tiers (taxes carbone et ETS), sur justification de l'importateur ou via la conclusion d'accords bilatéraux entre l'UE et les pays tiers en question. L'effet des autres types de politiques climatiques sur le contenu carbone des produits, comme les réglementations ou les subventions, sera implicitement pris en compte.

Le renforcement de l'ETS et du MACF réduisent efficacement les émissions et les fuites de carbone, pour un coût économique modéré. Dans le cadre de l'évaluation du MACF par la Commission européenne¹³¹,

¹³¹ Commission européenne (2021) « Commission Staff Working Document Impact Assessment Report

cette dernière estime, par rapport au scénario de référence, que le renforcement de l'ETS¹³² sans MACF réduirait les émissions européennes territoriales de ces secteurs d'environ 13 % (44 MtCO₂éq) pour un coût économique de 0,2 % du PIB européen en 2030 tout en générant une augmentation des fuites de carbone de 8 % et une augmentation des émissions dans le reste du monde de 0,1 %. La mise en œuvre du MACF sur certains biens importés en parallèle du renforcement de l'ETS et de la suppression progressive des quotas gratuits pour les secteurs couverts réduirait (i) les fuites de carbone de 37 points de pourcentage (à -29 %)¹³³, (ii) les émissions européennes territoriales de ces secteurs d'environ 4 % supplémentaires (à -14 %, soit -47,5 MtCO₂éq) et (iii) celles de ces secteurs dans les pays tiers de 0,4 %, pour un coût économique additionnel négligeable. D'autres études présentent des ordres de grandeur similaires¹³⁴.

Le MACF pourrait être complété afin de répondre au risque de fuites de carbone à l'exportation. Il n'est pas prévu, à ce stade, de mesure dédiée à la prévention de ce risque pour les productions européennes exportées sur les marchés des pays tiers où sont présents des biens qui n'intègrent pas un coût du carbone équivalent à celui payé par les biens produits dans l'UE. Les secteurs couverts par le MACF pourraient être plus ou moins exposés à ce risque. Une plus grande mobilisation du Fonds pour l'innovation de l'ETS pour les secteurs couverts par le MACF, avec un fléchage de l'équivalent des recettes des quotas gratuits supprimés mis aux enchères sur 2026-2030 et des appels à projets anticipés et dédiés à ces secteurs, a été retenue par les législateurs. Par ailleurs, la directive ETS et le règlement MACF prévoient une analyse de ce risque, le cas échéant accompagnée d'une proposition législative de la Commission européenne compatible avec les règles de l'OMC. Une solution serait un maintien partiel de quotas gratuits à l'export. Cette mesure permettrait de maximiser l'efficience environnementale du MACF en permettant une plus grande réduction des fuites de carbone estimée de 3 à 4 points de pourcentage supplémentaires par rapport à une situation sans mesure à l'exportation¹³⁵, tout en maintenant l'incitation à la décarbonation sur les productions exportées.

Compte tenu de son périmètre sectoriel actuel, le MACF ne répond que partiellement au risque de fuites de carbone à l'aval de la chaîne de valeur et son extension aux secteurs aval à risque est à poursuivre. À ce stade, le MACF ne s'applique pas à tous les secteurs et produits de l'aval qui pourraient être exposés à un risque de fuites de carbone en raison (i) de la suppression progressive des quotas gratuits de l'ETS dont le coût pourrait leur être répercuté et (ii) de la montée en charge de l'ajustement financier du MACF qui pourrait induire une augmentation du coût de leurs intrants. La solution de premier rang pour

[Accompanying the document Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism ».](#)

¹³² Le scénario de référence permet d'atteindre l'ancien objectif climatique européen pour 2030 d'une réduction des émissions brutes de 40 % par rapport à 1990, avec un objectif de réduction des émissions des secteurs couverts par l'ETS de 43 % en 2030 par rapport à 2005. Le scénario de renforcement de l'ETS permet d'atteindre le nouvel objectif climatique européen pour 2030 d'une réduction des émissions nettes de 55 % par rapport à 1990, avec un objectif de réduction des émissions des secteurs couverts par l'ETS de 62 % en 2030 par rapport à 2005.

¹³³ Le MACF est plus efficace que les quotas gratuits car le volume de quotas gratuits de l'ETS disponible, qui correspond à une part fixe (43 %) du plafond total de l'ETS, ne sera plus suffisant à court terme pour prévenir efficacement les fuites de carbone en raison de la réduction de ce plafond afin d'atteindre une réduction, au niveau européen, de 62 % des émissions des secteurs couverts en 2030 par rapport à 2005. Couplé à l'ETS, le MACF permettrait de générer des fuites de carbone négatives, indiquant que les émissions dans le reste du monde baissent.

¹³⁴ Cf. par exemple Branger, F., et P. Quirion (2014). « Les ajustements carbone aux frontières permettraient-ils d'éviter les fuites de carbone et les pertes de compétitivité de l'industrie lourde ? Insights from a meta-analysis of recent economic studies ». *Ecological Economics*, 99 ; Bellora, C., & Fontagné, L. (2022). "EU in search of a WTO-compatible carbon border adjustment mechanism" ; Rapport Pisani-Ferry Mahfouz (2023) « [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) », GT "Compétitivité" ; Coster, P., Mejean, I., & di Giovanni, J. (2024). Firms' Supply Chain Adaptation to Carbon Taxes. FRB of New York Staff Report, (1136).

¹³⁵ Cf. notamment : Branger et Quirion (2014), « Would carbon border adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses ? Insights from a meta-analysis of recent economic studies » qui estime, sur la base d'une revue de la littérature, qu'un MACF avec compensation totale à l'export diminuerait le taux de fuites de carbone de 4 points de pourcentage supplémentaires (de 8 % à 4 % contre 14 % sans MACF). La CNUCED (2021), « A European Union carbon border adjustment mechanism: implications for developing countries » estime également que le taux de fuites de carbone diminuerait de 3 points de pourcentage grâce à des compensations à l'export (2,6 % contre 5,6 % avec un MACF sur les importations seules et 13,3 % sans MACF).

répondre au risque de fuites de carbone serait l'inclusion des secteurs et produits identifiés à risque. Le règlement MACF prévoit que la Commission européenne élabore une méthodologie pour les identifier et fasse une proposition législative d'ici la fin de l'année 2025 pour les inclure dans le MACF. Il pourrait être nécessaire de développer une méthodologie simplifiée de calcul des émissions en cas d'inclusion des produits de l'aval complexes, comme certains produits finis très transformés, reposant sur des valeurs par défaut tout en laissant la possibilité de déclarer les émissions réelles. Par ailleurs, ces secteurs pourraient également faire face à un risque de fuites de carbone à l'exportation et des instruments et aides à l'investissement ou au fonctionnement pourraient être mis en œuvre afin de soutenir leur décarbonation et limiter leur exposition au prix du carbone, et donc aux fuites de carbone.

ENCADRÉ 5

Quel impact du MACF sur l'économie des pays tiers ?

L'estimation de l'exposition directe des pays tiers au MACF et de son impact macroéconomique global (tenant compte des effets indirects dans le cadre d'un modèle macroéconomique) est un exercice complexe dont les résultats doivent être considérés avec prudence. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, notamment (i) l'exposition au commerce avec l'UE dans les secteurs concernés, en termes absolus (valeur des exportations à destination de l'UE de produits couverts par le MACF) mais également relatifs (part des produits MACF dans le total des exportations, part des exportations dans le PIB, etc.), (ii) l'intensité carbone de la production exportée vers l'UE et couverte par le MACF et (iii) l'éventuelle tarification domestique du carbone dans les pays tiers déjà payée sur les produits couverts par le MACF, qui pourra être déduite de l'ajustement financier du MACF (après prise en compte des éventuels compensations ou quotas gratuits dont auraient bénéficié chez eux les producteurs des pays tiers). Ces exercices sont d'autant plus délicats que le MACF ne fonctionnera à plein qu'en 2034, impliquant de formuler des hypothèses sur (i) le périmètre couvert à l'horizon des estimations, (ii) la structure du commerce international (composition et volume des échanges), (iii) l'évolution des émissions des sites industriels des pays tiers et la potentielle spécialisation à l'exportation des sites industriels de pays tiers les moins émetteurs vers l'UE, (iv) la répercussion des surcoûts liés au MACF (dans les prix ou les marges), (v) le prix du carbone dans les pays tiers et (vi) le niveau de prix du marché carbone européen. Enfin, l'impact macroéconomique du MACF ne peut être pleinement estimé qu'en considérant en parallèle l'effet de la suppression progressive des quotas gratuits de l'ETS pour les secteurs européens couverts par le MACF, en principe positif pour les économies tierces à l'UE.

Les pays tiers les plus exposés au MACF, en termes relatifs, seraient certains États du voisinage européen, notamment en raison de leurs liens commerciaux forts avec l'UE, ainsi que quelques pays d'Afrique, pour des raisons spécifiques à chacun. L'étude d'impact sur le MACF de la Commission européenne¹³⁶ indique les principaux pays d'origine des importations couvertes par le MACF (Royaume-Uni, Russie, Ukraine, Biélorussie, Balkans, Turquie, Inde, Chine)¹³⁷ ainsi que l'impact potentiel sur les pays les moins avancés, mesuré par l'importance absolue et relative des exportations à destination de l'UE possiblement soumises au MACF. Des rapports plus complets seront réalisés d'ici fin 2025 puis tous les deux ans. En outre, les travaux tiers existants présentent en général des résultats incomplets car reposant sur des hypothèses

¹³⁶ Document de travail de la Commission européenne SWD(2021) 643 final du 14 juillet 2021.

¹³⁷ Ces travaux ne prennent pas en compte l'évolution des flux commerciaux due aux sanctions appliquées notamment aux importations d'acier en provenance de Russie et de Biélorussie ni aux destructions des capacités de production, notamment sidérurgiques, de l'Ukraine. Par ailleurs, le règlement MACF comporte une clause de force majeure qui permettrait d'exempter temporairement de l'ajustement du MACF les exportations ukrainiennes vers l'UE.

fortes (prix du carbone, émissions, etc.) et/ou des scénarios ne correspondant pas aux modalités retenues dans le règlement MACF¹³⁸, voire présentent des résultats excessifs. Selon les estimations les plus complètes disponibles¹³⁹, les Balkans occidentaux (Serbie, Bosnie-Herzégovine, Albanie, Macédoine du Nord) et certaines États du pourtour méditerranéen (Maroc et dans une moindre mesure Egypte, Tunisie et Algérie) seraient relativement plus exposés en raison du poids des secteurs soumis au MACF ainsi que de l'importance des échanges avec l'UE dans leur économie et de leur production relativement plus carbonée que celle de l'UE. Quelques pays d'Afrique (Zimbabwe, Mozambique) ou des Caraïbes (Trinité-et-Tobago) pourraient également être relativement exposés du fait de la présence sur leur territoire de sites industriels de taille significative ainsi que, dans une moindre mesure, certaines États d'Asie mineure (Kazakhstan, Azerbaïdjan) et du Moyen-Orient (Bahreïn, Oman, Émirats Arabes Unis, Arabie Saoudite). À l'inverse, si l'Inde et la Chine peuvent apparaître exposées en termes absolus, l'impact relatif sur leur économie serait limité.

Afin d'accélérer la décarbonation mondiale, développer la tarification du carbone et favoriser l'adaptation au MACF, la Commission européenne et plusieurs États membres apportent un soutien technique et financier (cf. Section 3.1) à des pays tiers par l'intermédiaire de programmes régionaux et bilatéraux, conformément à leurs stratégies de développement et de lutte contre le changement climatique à long terme¹⁴⁰.

Une fragmentation du commerce international pourrait accroître le coût de la transition¹⁴¹. Face à la tentation de mettre en place des mesures commerciales protectionnistes en réaction, qui reviendrait à fragmenter l'action climatique, il est nécessaire de défendre une bonne application des règles du commerce international aux biens et services environnementaux, en luttant contre les mesures protectionnistes et en rétablissant des conditions de concurrence équitable chaque fois que pertinent. La concurrence économique entre les nations et les tensions géopolitiques se traduisent de plus en plus par des restrictions aux échanges, avec l'adoption de mesures protectionnistes parfois associées ou présentées comme justifiées par des mesures climatiques. Ces mesures concernent en particulier les produits nécessaires à la transition vers la neutralité carbone (comme par exemple les voitures électriques dans l'Inflation Reduction Act aux États-Unis). En conséquence, la fragmentation pourrait accroître le coût de la transition en augmentant le prix des biens nécessaires à transition voire en limitant leur accès (notamment pour les minéraux¹⁴²), en réduisant l'ambition et l'efficacité de l'action climatique¹⁴³, et en diminuant les transferts de technologie¹⁴⁴. Certains acteurs pourraient aussi pratiquer des prix artificiellement bas sur certains biens essentiels à la transition écologique, en se livrant à du dumping ou en bénéficiant de subventions ayant des effets de distorsion, ce qui créerait des conditions de concurrence déloyale.

¹³⁸ Par exemple, Magacho, G., Espagne, E., & Godin, A. (2024). Impacts of the CBAM on EU trade partners: consequences for developing countries. *Climate Policy*, 24(2), 243-259 modélise ainsi un scénario fondé sur la proposition initiale de la Commission européenne (ne tenant donc pas compte des modifications apportées ultérieurement par les législateurs, en particulier sur la couverture sectorielle et en matière de périmètre des émissions), et en retenant un prix du carbone relativement faible (60 \$/tCO₂éq).

¹³⁹ Cf. notamment : Banque Mondiale (2023). Relative CBAM Exposure Index; UNCTAD, A. (2021). A European Union Carbon Border Adjustment Mechanism: Implications for Developing Countries. In United Nations Conference on Trade and Development.

¹⁴⁰ Commission européenne (2024). [CBAM and developing countries/least developed countries](#).

¹⁴¹ Gardes-Landolfini, C., Grippa, P., Oman, W., & Yu, S. (2023). Energy transition and geoeconomic fragmentation: implications for climate scenario design. International Monetary Fund.

¹⁴² IMF (2023) World Economic Outlook. Chapter 3: Fragmentation and Commodity Markets: Vulnerabilities and Risks.

¹⁴³ OMC (2022). ["World Trade Report 2022: Climate change and international trade"](#).

¹⁴⁴ Pienknagura, S. (2024). "Trade in Low Carbon Technologies: The Role of Climate and Trade Policies", Document de travail du FMI.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Dans ces situations, les mesures de défense commerciale peuvent être utilisées pour rétablir des conditions de concurrence équitable, afin que la compétition entre les différents acteurs puisse reposer sur celle de l'innovation, de la qualité des produits et de l'efficience des coûts de production. Les conditions d'adoption des mesures de défense commerciale sont strictement définies par les règles de l'OMC et les droits de douane additionnels en résultant sont nécessairement ciblés, adaptés et proportionnés. Ainsi, lesdits droits ne peuvent rester en vigueur que tant que la pratique déloyale perdure ou s'il est établi qu'elle réapparaîtra dès leur retrait. En conséquence, contrairement aux mesures protectionnistes, la défense commerciale ne réduit pas l'intensité concurrentielle extérieure légitime à laquelle est soumise l'industrie locale, qui est toujours incitée à innover et gagner en efficience pour se développer dans les biens dont la demande augmente avec les politiques de transition. En revanche, en éliminant la concurrence extérieure illégitime, elle permet de protéger certains emplois, de préserver des compétences et d'assurer la résilience, et ce faisant contribue également à l'acceptabilité des politiques climatiques.

ENCADRÉ 6

Liens entre commerce international et décarbonation

Les émissions de gaz à effet de serre contenues dans les échanges internationaux¹⁴⁵ représenteraient entre un quart et un tiers des émissions totales mondiales, et ont crû significativement avec l'essor du commerce international depuis les années 2000¹⁴⁶. Pour la France, les émissions importées représentaient en 2023 plus de la moitié (56 %) de l'empreinte carbone¹⁴⁷.

Au niveau agrégé, l'ouverture commerciale, par rapport à une situation fictive d'autarcie, et en l'absence de politiques climatiques ambitieuses, entraînerait, selon certaines estimations¹⁴⁸, une hausse des émissions de CO₂ de 5 %¹⁴⁹. L'ouverture commerciale entraînerait cependant un gain de bien-être largement supérieur à la perte de bien-être occasionnée par les émissions de CO₂, d'après ces mêmes estimations. L'impact du développement du commerce international sur les émissions de carbone peut être décomposé en trois effets :

- L'effet d'échelle traduit la hausse des émissions de carbone liées à une hausse de la production et du transport des biens échangés.
- L'effet de composition mesure le changement de spécialisation sectorielle lié aux échanges. Cet effet peut jouer à la hausse ou à la baisse sur les émissions de carbone, et peut dépendre de l'existence de fuites de carbone.
- Enfin, l'effet technique traduit la baisse des émissions grâce au progrès technologique et aux innovations qui permettraient de produire plus proprement (à échelle et composition sectorielle constantes).

Le commerce peut être bénéfique à la décarbonation, car – lorsqu'il est couplé à une tarification du carbone – il contribue à stimuler les innovations dans les technologies de production moins intensives en émission de gaz à effet de serre, et à les diffuser entre pays. Dans un scénario théorique de tarification

¹⁴⁵ Il s'agit ici de la mesure des émissions de carbone directes et indirectes associées au processus de production et de transport des biens échangés, y compris au sein de l'UE, et non une mesure par rapport à une situation contrefactuelle sans commerce international.

¹⁴⁶ OCDE, [Empreinte carbone](#).

¹⁴⁷ SDES (2024), « Émissions de gaz à effet de serre et empreinte carbone de la France : une baisse significative en 2023 ».

¹⁴⁸ Si la littérature s'accorde sur l'impact négatif d'une ouverture commerciale sur les émissions de CO₂ par rapport à une situation d'autarcie, la littérature empirique se heurte à plusieurs difficultés techniques pour estimer la sensibilité des émissions de CO₂ à une évolution du commerce (en d'autres termes de combien varieraient les émissions de CO₂ si le commerce varie de 1 %).

¹⁴⁹ Shapiro J. (2016) « [Trade costs, CO2 and the environment](#) » American Economic Review, 8(4).

carbone mondiale ambitieuse, le commerce pourrait contribuer à réduire les émissions de GES si les pays se spécialisent dans les biens pour lesquels ils sont les plus efficaces climatiquement, c'est-à-dire les moins intenses en émissions¹⁵⁰. Il permet aussi les échanges de biens bas-carbone, qui réduisent les coûts de la transition au niveau mondial, en mettant à profit les avantages comparatifs dans la transition (à condition d'une concurrence loyale entre partenaires commerciaux).

Les biens bas-carbone représentent ainsi 4 % des importations et 5 % des exportations françaises en 2022, selon une classification proposée par le FMI¹⁵¹. La France présente en 2022 une spécialisation à l'export, mesurée par les avantages comparatifs révélés¹⁵², pour certains biens bas-carbone (cf. Chapitre 8). En revanche, elle ne présente pas de spécialisation pour l'ensemble de ces biens, contrairement à d'autres économies, comme l'Allemagne. Il y a un intérêt clair à encourager la diffusion de ces biens et services verts.

En parallèle, il importe d'assurer la décarbonation des transports aérien et maritime internationaux, ce qui constitue un effort national, européen et mondial. Les coûts de la décarbonation du transport international demeurent incertains (cf. Chapitre 10), de même que les conséquences économiques associées à ce surcoût. Les carburants de synthèse e-kérosène sont actuellement 10 fois plus chers que le kérosène en Europe¹⁵³, et leur production induit des besoins en électricité bas-carbone. Les politiques climatiques nationales de décarbonation du transport sont aussi associées à un risque de fuites de carbone, si les transporteurs s'alimentent en carburant dans des zones moins tarifées ou moins réglementées¹⁵⁴. Dans ces secteurs également, un renforcement de la tarification du carbone serait un outil efficace¹⁵⁵, en particulier au niveau international. C'est notamment l'un des objectifs affichés du pacte de Paris pour les Peuples et la Planète¹⁵⁶ et de la Global Solidarity Levies Task Force¹⁵⁷, auxquels la France participe activement. Des avancées ont été réalisées au niveau européen avec l'inclusion des transports aérien et maritime dans l'ETS européen, et le règlement ReFuel Aviation qui impose aux fournisseurs de carburants d'aviation une part minimale de carburants d'aviation durable à partir de 2025 et une part minimale de carburants de synthèse à partir de 2030. La France est de plus mobilisée pour relever les ambitions de décarbonation des institutions dédiées, l'Organisation de l'aviation civile internationale et l'Organisation maritime internationale¹⁵⁸.

La réduction de l'empreinte carbone à un rythme cohérent avec l'ambition de l'Accord de Paris doit ainsi être poursuivie. La projection de l'empreinte carbone française est incertaine, notamment car elle dépend en partie des émissions à l'étranger. Bien que moins pilotable que les émissions territoriales, le suivi et la réduction de l'empreinte carbone apparaissent nécessaires¹⁵⁹ ; c'est en particulier une mesure robuste aux fuites de carbone. La loi énergie-climat (2019)¹⁶⁰ prévoit un plafond indicatif des émissions de la France dénommé « empreinte carbone » à partir

¹⁵⁰ Le Moigne M., S. Lepot, R. Ossa, M. Ritel et D. Simon (à paraître) « [Greening Ricardo](#): Environmental Comparative Advantage and the Environmental Gains from Trade », Document de Travail de l'OMC.

¹⁵¹ « [Trade in Low Carbon Technology Products](#) », climatedata.imf.org.

¹⁵² L'avantage comparatif révélé (ACR) est un indicateur révélant la spécialisation relative d'un pays à l'exportation. Un ACR supérieur à 1 indique une spécialisation.

¹⁵³ ICCT (2022), [Current and future cost of e-kerosene in the United States and Europe](#) ; EASA (2024).

¹⁵⁴ Adam, M et al. (2024) « [Achats transfrontaliers de carburant à la frontière franco-allemande](#) », Document de travail INSEE.

¹⁵⁵ [Black S., Parry I., Singh S., et Vernon-Lin N. \(2024\) "Destination Net Zero: The Urgent Need for a Global Carbon Tax on Aviation and Shipping", Staff Climate Notes.](#)

¹⁵⁶ « De nouvelles pistes de fiscalité internationale seront explorées afin de respecter nos engagements en matière de climat. » [Pacte de Paris pour les Peuples et la Planète](#).

¹⁵⁷ [Global Solidarity Levies Task Force](#).

¹⁵⁸ L'OMI prévoit l'entrée en vigueur dès 2027 de mesures réglementaires (une norme décroissante d'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires) ainsi qu'une tarification du carbone.

¹⁵⁹ Haut Conseil pour le Climat (2020), « [Maitriser l'empreinte carbone de la France](#) ».

¹⁶⁰ [Loi énergie et climat du 8 novembre 2019 | vie-publique.fr](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

de 2022. La proposition de trajectoire SNBC 3, conformément au code de l'environnement, présentera une cible indicative de réduction de l'empreinte carbone. Les principaux instruments européens contribuant actuellement à réduire les émissions importées sont le MACF, et d'autres textes s'appliquant tant aux productions européennes qu'aux productions importées à savoir le règlement européen contre la déforestation, le règlement éco-conception et le règlement batterie pour les véhicules électriques. Les accords commerciaux tiennent aussi davantage compte des enjeux de développement durable (cf. Encadré 7).

ENCADRÉ 7

Prise en compte des enjeux de développement durable dans les accords commerciaux

Les accords commerciaux tiennent davantage compte des enjeux de développement durable. La nouvelle approche de la Commission européenne en matière de commerce et développement durable, adoptée en juin 2022¹⁶¹, a permis de renforcer le caractère contraignant des clauses climatiques des futurs accords commerciaux de l'UE. Cette nouvelle approche a été intégrée pour la première fois dans le cadre de l'accord de libre-échange avec la Nouvelle-Zélande et a vocation à apparaître dans l'ensemble des futurs accords commerciaux de l'UE. Elle marque une avancée substantielle puisque la Commission propose la possibilité de sanctions commerciales en cas de violation persistante des principaux engagements de développement durable contenus dans les accords de commerce. Il s'agit d'une demande emblématique de la France depuis le Plan d'action CETA de 2017, qui permet de porter une attention particulière à la mise en application effective des clauses environnementales et sociales par les pays tiers. Autre élément important, l'implication de la société civile est renforcée, de la négociation à la mise en œuvre de l'accord, y compris par l'intermédiaire de ressources supplémentaires. Cette nouvelle approche vient en complément de l'inclusion d'éléments essentiels portant sur le respect des droits de l'Homme et de l'Accord de Paris, soutenue de longue date par la France.

¹⁶¹ Commission européenne (2022) "[The power of trade partnerships: together for green and just economic growth](#)" COM(2022) 409 final.

4 Les enjeux de la transition bas-carbone pour les finances publiques

Messages-clés

Le changement climatique et la transition bas-carbone auront des implications importantes et multiples pour les finances publiques.

- Les politiques de transition mises en œuvre pour limiter le changement climatique auront un effet direct sur le solde public (par exemple, recettes de tarification carbone supplémentaires et/ou dépenses supplémentaires de décarbonation), ainsi que des effets indirects sur l'économie (via le PIB, les taux d'intérêt, l'inflation) pouvant se répercuter sur les finances publiques.
- La sortie des énergies fossiles nécessaire à l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone aura notamment pour effet direct de réduire les recettes d'accise sur les énergies (à tarification inchangée).
- Le coût des effets physiques du changement climatique – selon la manière dont il sera partagé avec les acteurs privés – et celui des politiques d'adaptation mises en œuvre pour le réduire pèseront également sur les finances publiques de façon directe ou indirecte.

Les implications de la transition bas-carbone pour les finances publiques différeront selon la combinaison d'instruments mobilisés (tarification du carbone, subventions, réglementations).

- La combinaison d'instruments retenue sera un déterminant majeur du coût de la transition pour les finances publiques. Certains instruments de décarbonation ont un coût direct pour les finances publiques (e.g. subventions) tandis que d'autres accroissent les recettes. Une transition menée avec la tarification du carbone réduirait les coûts pour l'économie, ses effets sur l'activité étant moins distorsifs que les réglementations et subventions, atténuant ainsi les effets indirects négatifs pour les finances publiques.
- Selon une modélisation illustrative et simplifiée, une transition menée avec une combinaison d'instruments diversifiée mobilisant davantage la tarification du carbone pourrait avoir un effet limité sur l'endettement public, en dépit de l'érosion des recettes d'accise.

À fiscalité inchangée, la transition bas-carbone érodera certaines recettes de fiscalité énergétique sous l'effet de la diminution de la consommation d'énergies fossiles. Les recettes d'accise sur les énergies fossiles pourraient quasiment disparaître à horizon 2050 et ne seraient que très partiellement compensées par la hausse des recettes d'accise sur l'électricité.

- En 2019, année de référence retenue dans cette analyse pour faire abstraction des effets des crises sanitaire et énergétique, l'accise sur les énergies fossiles (Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Energétiques – TICPE et Taxe Intérieure de Consommation sur le Gaz Naturel – TICGN, hors TVA) représentaient des recettes fiscales nettes de 33 Md€, soit 1,4 point de PIB. Parmi ces recettes, environ 60 % sont revenues à l'État en 2022 et le reste est redistribué principalement aux collectivités et à l'Agence de Financement des Infrastructures de Transport de France (AFIT France).
- En s'appuyant sur les scénarios préliminaires d'évolution de la consommation de produits énergétiques envisagés dans les travaux préparatoires de la prochaine stratégie nationale

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

bas-carbone (SNBC 3), il est estimé qu'un scénario compatible avec les objectifs climatiques généreraient, à fiscalité inchangée, une perte d'accise sur les énergies fossiles (ex-TICPE et ex-TICGN) de l'ordre de 11 Md€ à horizon 2030 (estimation affinée par rapport à l'estimation préliminaire de 14 Md€ figurant dans le rapport intermédiaire sur les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone) et 33 Md€ à horizon 2050, relativement à 2019.

- La hausse de la consommation d'électricité anticipée dans ces scénarios générera une hausse des recettes d'accise sur l'électricité (ex-TICFE) de l'ordre de 1 Md€ en 2030 et 3 Md€ en 2050 par rapport à 2019, et serait donc loin de compenser la diminution des recettes d'accise sur les énergies fossiles.
- Au total, les pertes de recettes d'accise sur les énergies atteindraient 10 Md€ en 2030 et 30 Md€ en 2050.
- Cette érosion des recettes concerne en premier lieu le secteur routier, du fait de l'électrification des véhicules, l'électricité étant moins taxée que les carburants routiers fossiles par unité d'énergie utile.

4.1 Le changement climatique et la transition bas-carbone auront des implications pour les finances publiques qui restent à approfondir

Le changement climatique affectera les finances publiques par le biais des implications économiques de ses effets physiques, et des politiques de transition et d'adaptation mises en œuvre pour y faire face. De façon schématique, le changement climatique se matérialise de trois façons distinctes sur l'économie et les finances publiques^{162,163,164} :

- Les **effets physiques** correspondent à la hausse de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles ainsi qu'à certaines modifications permanentes de l'environnement (i.e. hausse de la température, montée des eaux, cf. Chapitre 1). Du point de vue de la puissance publique¹⁶⁵, cela peut notamment impliquer des dommages sur ses actifs détenus en propre, des dépenses supplémentaires de prise en charge partielle de certains dommages et la compensation des victimes, et des moindres recettes via une réduction de l'activité économique. Ces coûts dépendront de l'ampleur du changement climatique, mais aussi de la qualité des efforts d'adaptation et du partage des risques entre les secteurs public et privé.
- Les **efforts d'adaptation** sont engagés pour limiter les dommages causés par les effets physiques du changement climatique et induisent des coûts partagés entre les acteurs privés et publics. Du point de vue de la puissance publique¹⁶⁶, cela pourrait engendrer des dépenses supplémentaires pour atténuer les effets déjà perceptibles du changement climatique (e.g. rénover les bâtiments publics pour faire face à la hausse des températures) et se préparer aux effets à venir (e.g. améliorer les ouvrages de prévention des risques naturels majeurs).
- Les **effets de la transition vers la neutralité carbone** proviennent des transformations liées à la mise en œuvre de politiques climatiques efficaces et se traduisent à l'échelle macroéconomique notamment par une hausse de l'investissement et des coûts de production ainsi qu'une baisse temporaire de la croissance de la productivité (cf.

¹⁶² Bank of England (2018), "[Climate change and the macro-economy : a critical review](#)".

¹⁶³ The coalition of finance ministers for climate action (2021), "[Climate-related risks for ministries of finance : an overview](#)"

¹⁶⁴ OCDE (2021), "[Climate change and long-term fiscal sustainability](#)."

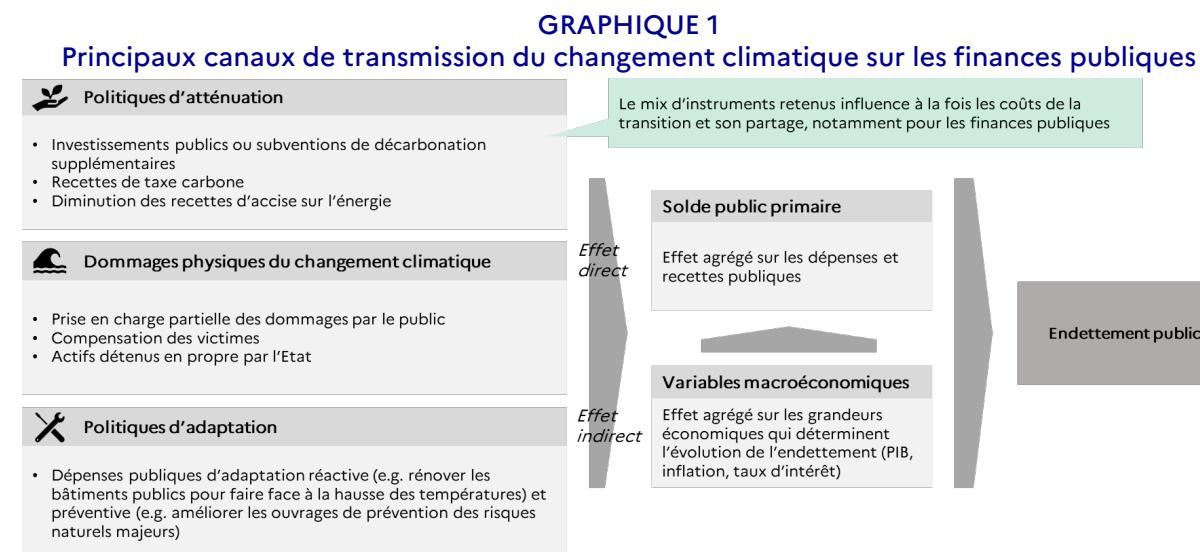
¹⁶⁵ Commission Européenne (2022), "[The fiscal impact of extreme weather and climate events](#)."

¹⁶⁶ FMI (2022), "[Macro-fiscal implications of adaptation to climate change](#)"

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Chapitre 1). La transition va transformer la composition des activités économiques, avec le déclin des activités carbonées et l'essor de nouvelles activités bas-carbone. Du point de vue de la puissance publique¹⁶⁷, elle pourrait se traduire par des investissements publics supplémentaires ou des subventions en faveur de la décarbonation et de l'accompagnement, et de moindres recettes via l'érosion de l'assiette fiscale assise sur les énergies fossiles et la réduction de l'activité économique relativement à un scénario fictif sans politiques de transition. Un renforcement de la tarification carbone, si elle est retenue comme un instrument de lutte contre le changement climatique, générera des recettes supplémentaires sur la trajectoire de transition.

Les implications du changement climatique et des politiques de transition et d'adaptation sur les finances publiques sont très incertaines. Les effets du changement climatique et des politiques de transition et d'adaptation se répercutent par le biais de canaux directs et indirects sur l'ensemble des grandeurs macroéconomiques pertinentes pour la dynamique des finances publiques que sont notamment le PIB, les dépenses et les recettes publiques, le taux d'intérêt et l'inflation (cf. Chapitre 2). Ils dépendent intrinsèquement des politiques envisagées, des scénarios contrefactuels retenus, et sont ainsi très incertains. Certaines implications macroéconomiques du changement climatique ne font d'ailleurs pas l'objet d'un consensus dans la littérature économique (e.g. effet de la transition bas-carbone sur les taux d'intérêt ou sur l'inflation).



Source : DG Trésor.

Les effets des politiques de transition sur les finances publiques seront fortement différenciés selon le choix des instruments de décarbonation¹⁶⁸. Concernant les effets directs, une hausse de la tarification du carbone augmenterait les recettes dans la trajectoire de transition par rapport à une approche subventionnelle ou réglementaire, bien qu'il pourrait s'avérer nécessaire, notamment pour assurer l'acceptabilité des mesures prises, d'en redistribuer une partie aux ménages et/ou entreprises. L'atteinte des objectifs climatiques par le biais d'investissements publics supplémentaires et de subventions en faveur de la décarbonation aurait à l'inverse un coût direct élevé pour les finances publiques. Les réglementations climatiques n'auraient au premier ordre pas d'effet direct sur les finances publiques si elles font porter l'effort sur les ménages et entreprises, mais pourraient nécessiter des dépenses de compensation ou d'aide au changement de comportement. Concernant les effets indirects, une transition menée avec la tarification du carbone limiterait les coûts pour l'économie, ses effets sur l'activité étant moins

¹⁶⁷ The coalition of finance ministers for climate action (2022), "[How to scope the fiscal impacts of long-term climate strategies? A review of current methods and processes.](#)"

¹⁶⁸ Direction Générale du Trésor (2023), "[Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone. Rapport intermédiaire](#)"

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

distorsifs que les réglementations et les subventions¹⁶⁹. En effet, la tarification du carbone induit un choc d'offre et de compétitivité négatif, mais l'utilisation des recettes générées, notamment si elle vise à réduire des prélèvements distorsifs (e.g. sur le travail) pourrait en limiter les effets. Si les subventions génèrent un choc de demande, voire de compétitivité, positif, en stimulant les dépenses des ménages et des entreprises en technologies bas-carbone, elles n'incitent pas pour autant à réduire l'utilisation des alternatives carbonées. Les subventions génèrent également un besoin de financement public qui pourrait limiter les effets positifs, et une hausse de l'inflation via le surplus de dépenses. Les réglementations peuvent générer un choc d'offre et de compétitivité négatif d'une plus grande ampleur encore qu'une tarification du carbone. En effet, elles augmentent le coût des actions de décarbonation déclenchées par rapport à la tarification du carbone si elles sont mal ciblées, sans générer de recettes supplémentaires pouvant servir à réduire les prélèvements distorsifs.

Plusieurs études ont proposé des quantifications de certains effets de la décarbonation sur les finances publiques^{170,171,172}, y compris pour la France^{173,174,175}, mais distinguent rarement les effets selon les politiques climatiques menées (cf. Encadré 1).

ENCADRÉ 1

Estimations des effets des politiques de transition sur les finances publiques pour la France

L'Inspection Générale des Finances (IGF, 2022) estime une hausse nette de l'endettement de 15 points de PIB en 2050 par rapport à un scénario d'inaction, dont une hausse brute de 13 points attribuable à l'érosion des recettes fiscales liées aux combustibles fossiles (contribution climat-énergie comprise)¹⁷⁶. Les autres éléments modélisés sont les dépenses publiques (calibrées à 25 % des dépenses d'investissements supplémentaires¹⁷⁷) et les effets indirects négatifs sur la productivité.

Le rapport de Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz sur les incidences économiques de l'action pour le climat¹⁷⁸ affine ces calculs. Les auteurs font l'hypothèse que les pertes de recettes liées aux combustibles fossiles seraient compensées par la mise en place d'une fiscalité alternative, et se concentrent sur l'effet des dépenses publiques de décarbonation (en faisant l'hypothèse que la moitié des investissements bas-carbone supplémentaires nécessaires seraient portés par la puissance publique) et du ralentissement de la croissance induit par la transition bas-carbone. Ces hypothèses se traduisent en une hausse de la dette publique de 25 points de PIB en 2040.

Dans un récent document de travail¹⁷⁹, des chercheurs ont analysé l'impact de la transition bas-carbone sur les finances publiques en France à l'aide d'un modèle d'équilibre général dynamique stochastique (DSGE). L'analyse modélise trois scénarios de décarbonation atteignant les objectifs climatiques, mobilisant soit une taxe carbone seule (1 000 \$/tCO₂ en 2050), soit de l'investissement public direct, soit une solution intermédiaire associant une taxe carbone plus faible (100 \$/tCO₂ en 2050) à des subventions

¹⁶⁹ FMI (2023), "[Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World](#)", Fiscal Monitor.

¹⁷⁰ OBR (2021), "[Fiscal risks report – July 2021](#)" ; OBR (2022), "[Economic and fiscal outlook](#)" ; OBR (2023), "[Fiscal risks and sustainability – July 2023](#)"

¹⁷¹ HM Treasury (2021), "[Net Zero Review. Analysis exploring the key issues](#)"

¹⁷² FMI (2023), "[How does decarbonization change the fiscal equation?](#)" ; FMI (2023), "[Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World](#)"

¹⁷³ Inspection Générale des Finances (2022), "[Enjeux macroéconomiques et budgétaires de la neutralité carbone](#)"

¹⁷⁴ France Stratégie (2023), "[Les incidences économiques de l'action pour le climat](#)"

¹⁷⁵ Cour des Comptes (2024), "[Finances et comptes publics. La situation et les perspectives des finances publiques](#)"

¹⁷⁶ Inspection Générale des Finances (2022), "[Enjeux macroéconomiques et budgétaires de la neutralité carbone](#)"

¹⁷⁷ Besoins d'investissement évalués par le think-tank I4CE.

¹⁷⁸ France Stratégie (2023), "[Les incidences économiques de l'action pour le climat](#)".

¹⁷⁹ Seghini C., Dées S. (2024), "[The green transition and public finances](#)", Document de travail.

à la décarbonation. La règle budgétaire du gouvernement, conditionnant les résultats, est telle que les taxes s'ajustent systématiquement à long terme pour assurer un retour de la dette vers sa valeur stationnaire, ce qui pourrait conduire à sous-estimer la dégradation des finances publiques à long terme. L'impact sur les finances publiques et d'autres variables macroéconomiques est analysé en comparaison à un scénario contrefactuel. Le scénario d'investissement public augmente la dette publique jusqu'à 7 pts peu après 2030 par rapport à 2025, ainsi que les taux d'intérêt des obligations d'État. Une variante prenant en compte les répercussions sur les conditions de financement du secteur privé suggère qu'un tel scénario induirait une forte dégradation macroéconomique. Le scénario basé sur la seule tarification du carbone permet de réduire le ratio d'endettement et les taux d'intérêt. Dans le scénario intermédiaire, l'augmentation du ratio de dette est contenue à 3 pts de PIB peu après 2030.

Un rapport de la Cour des Comptes de 2024¹⁸⁰ propose des estimations des effets de la transition bas-carbone sur le ratio d'endettement à horizon 2030, en prenant en compte les effets directs des dépenses publiques de décarbonation et de l'érosion des recettes fiscales sur les énergies fossiles, ainsi que l'effet indirect négatif de la décarbonation sur la croissance du PIB avec une réduction du taux de croissance de 0,1 pt par an. Deux scénarios sont proposés : un scénario optimiste sans érosion des recettes d'accise sur les énergies (qui seraient compensées par de nouvelles recettes) et avec une dépense publique modérée ; un scénario pessimiste avec une érosion des recettes d'accise sur les énergies non compensée et une hausse importante des dépenses publiques. Par rapport à un scénario tendanciel sans politiques de décarbonation, le scénario pessimiste augmenterait le ratio d'endettement de presque 7 pts de PIB en 2030, tandis qu'il augmenterait d'environ 4 pts dans le scénario optimiste.

Le présent rapport propose une illustration de l'impact des instruments de politique climatique sur les finances publiques et de nouvelles estimations des effets de la transition bas-carbone sur les recettes de fiscalité énergétique en France, en s'appuyant sur les scénarios provisoires de la SNBC 3 en cours de préparation.

4.2 Illustration de l'impact des instruments de politique climatique sur les finances publiques

Des scénarios polaires de politiques climatiques sont modélisés pour illustrer les effets des instruments de décarbonation sur les finances publiques à horizon 2050 (cf. Annexe méthodologique). Cette analyse se concentre sur les effets directs des politiques de décarbonation, sans considérer les impacts du changement climatique ou des politiques d'adaptation, et un impact macroéconomique sur l'activité illustratif des politiques de transition. Quatre scénarios sont construits de sorte à atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 (cf. Tableau 1). Ils varient selon le mix d'instruments utilisé pour atteindre la neutralité carbone (subventions¹⁸¹, tarification carbone, réglementations). L'effet des scénarios sur le solde public et sur l'endettement public est calculé puis comparé à un scénario contrefactuel, correspondant à une trajectoire de finances publiques illustrative tendancielle intégrant uniquement les politiques climatiques déjà mises en œuvre ou prévues. Pour illustrer l'effet négatif – mais limité – attendu d'une transition bas-carbone ordonnée sur la croissance potentielle du PIB, une hypothèse de réduction forfaitaire de celle-ci de -0,1 point de pourcentage par an par rapport au contrefactuel est retenue, indépendamment de la combinaison d'instruments retenue. Les effets macroéconomiques différenciés des instruments de politique climatique ne sont donc pas pris

¹⁸⁰ Cf. Cour des Comptes (2024), "[La situation et les perspectives des finances publiques](#)"

¹⁸¹ La modélisation des subventions à la décarbonation suppose que la puissance publique doit rémunérer trois fois le surcoût privé des actions de décarbonation pour les déclencher. Cette hypothèse *ad hoc* et illustrative sert à illustrer la relative inefficience des subventions par rapport à une taxe carbone, dans un contexte d'information imparfaite du régulateur.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

en compte ici. Cela constitue une limite importante de l'analyse, puisque ces différentes approches auraient des implications macroéconomiques divergentes (cf. *supra*). Cette hypothèse, reprise d'un récent rapport de la Cour des Comptes¹⁸² et cohérente avec celles du rapport Jean Pisani-Ferry – Selma Mahfouz, est retenue par souci de comparabilité avec ces autres exercices similaires ayant quantifié l'impact de la transition sur les finances publiques (cf. Encadré 1). Elle est par ailleurs globalement cohérente avec les résultats du Chapitre 2 sur les effets macroéconomiques de la transition bas-carbone.

TABLEAU 1
Scénarios de politique climatique modélisés

	Scénarios de décarbonation cohérents avec la cible de décarbonation 2050 du scénario Avec Mesures Supplémentaires (AMS) de la SNBC 2				
	Contrefactuel	Scénario tendanciel Avec Mesures Existantes (AME), SNBC 3	Tax 100 % tarification carbone, sans redistribution	Sub 100% subventions	Reg 100% réglementations
Description du scénario	Mesures existantes et prévues au 31 décembre 2021.	La neutralité carbone est atteinte uniquement par la hausse de la tarification carbone. Les recettes servent à réduire le déficit.	La neutralité carbone est atteinte uniquement par une hausse des subventions.	La neutralité carbone est atteinte uniquement par la mise en œuvre de nouvelles réglementations climatiques.	60% de l'effort additionnel vient de la taxe carbone, 20% des subventions, 20% des réglementations
Tarification carbone	Tendanciel	++	=	=	++
Dépenses de décarbonation ou de redistribution	Tendanciel (périmètre État uniquement)	=	+++	=	+
Réglementation	Tendanciel	=	=	++	+

Note de lecture : + désigne une mobilisation accrue de l'instrument par rapport à l'AME, tandis que = désigne une mobilisation identique à l'AME. Par exemple, le scénario Sub maintient le niveau de tarification carbone constant mais augmente beaucoup les subventions par rapport à l'AME.

Notes : dans le scénario Sub, l'inefficience des subventions est prise en compte en multipliant par trois les montants d'aide par rapport à des subventions avec information parfaite du régulateur, qui pourrait se limiter à compenser le surcoût net de la décarbonation pour les agents.

Bien que ce ne soit pas son objectif, une transition exclusivement menée par un renforcement de la tarification du carbone et sans redistribution réduirait le ratio d'endettement, mais poserait des enjeux d'acceptabilité (cf. Chapitre 6) et des risques spécifiques comme les fuites de carbone (cf. Chapitre 3). Dans un scénario où seule la tarification du carbone est mobilisée sans compensation des agents (Tax), celle-ci atteindrait près de 400 €₂₀₁₈/tCO₂éq en 2050, dont 50 €₂₀₁₈/tCO₂éq provenant du tendanciel. Le ratio d'endettement public à horizon 2050 diminuerait de 17 pts, les recettes supplémentaires de tarification carbone contribuant à hauteur de -22 pts de PIB¹⁸³. Les recettes supplémentaires de taxe carbone feraient modérément augmenter le taux de prélèvements obligatoires (PO), jusqu'à environ 44,6 % du PIB autour de 2040, soit un niveau qui reste comparable voire inférieur à celui observé en 2017 (45,1 %) et en 2019 (44,7 %). Au contraire, avec l'hypothèse d'une dépense publique relativement inefficiente en l'absence d'information parfaite sur les coûts privés, un recours exclusif aux subventions accroîtrait fortement le ratio d'endettement (scénario dit Sub).

Une approche diversifiée ou réglementaire aurait un impact limité sur le ratio d'endettement. Dans un scénario où la tarification du carbone augmente en parallèle d'un accompagnement financier des agents par des subventions à la décarbonation (Mix), le ratio d'endettement pourrait se stabiliser à horizon 2050. Dans un scénario où seules les réglementations seraient

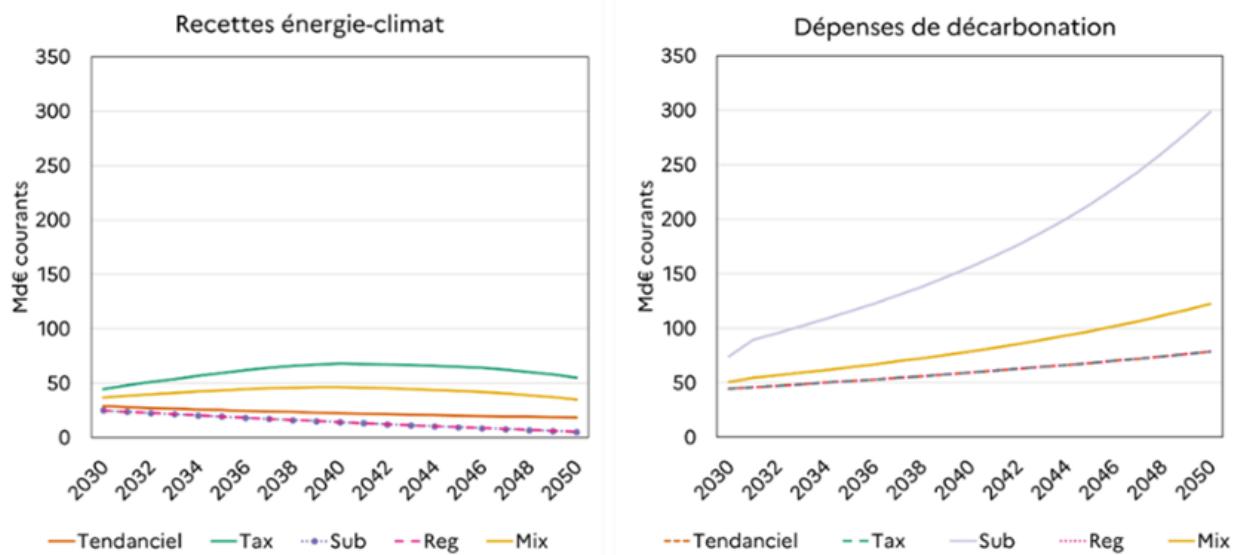
¹⁸² Cf. Cour des Comptes (2024), *op.cit.*

¹⁸³ Les autres facteurs en jeu sont la diminution des intérêts de la dette (-5 pts), l'érosion tendancielle des recettes d'accise (+3 pts) et un terme résiduel (+7 pts).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

mobilisées sans subventions (Reg), la hausse du ratio d'endettement serait limitée à +6 pts en 2050¹⁸⁴. Un tel scénario aurait cependant des effets négatifs importants sur l'activité qui ne sont pas pris en compte dans cette analyse (cf. *supra*).

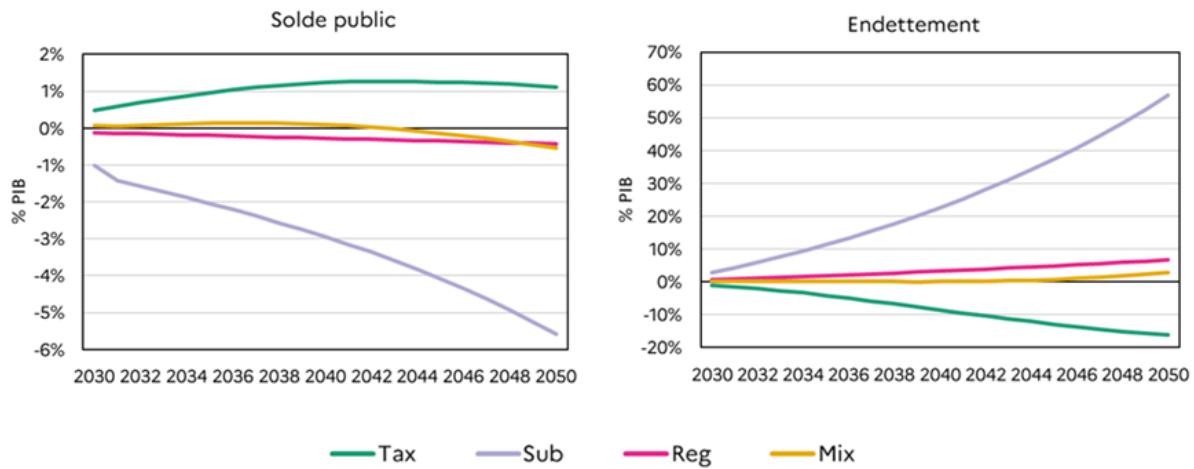
GRAPHIQUE 2
Impact des scénarios sur les recettes et les dépenses publiques de décarbonation



Source : calculs DG Trésor

Notes : les recettes énergie-climat correspondent uniquement aux recettes d'accise sur les énergies fossiles (i.e. ex-TICPE et TICGN). Par convention, les recettes nettes d'ETS sont supposées nulles, du fait de l'utilisation des recettes brutes pour compenser les ménages et entreprises ou contribuer au budget de l'UE.

GRAPHIQUE 3
Impact des scénarios sur le solde public et sur le ratio de dette sur PIB
(en écart de pts de PIB par rapport au scénario contrefactuel AME)



Source : Calculs DG Trésor.

Cette approche stylisée comporte des limites importantes invitant à une grande prudence dans l'analyse des résultats (cf. Annexe méthodologique). Elle ne permet pas de quantifier l'effet précis de la décarbonation sur les finances publiques. Le coût total de la transition pourrait être sous-estimé, notamment dans les scénarios sans tarification carbone additionnelle, principalement en raison de la difficulté à déclencher les investissements les plus efficaces, en particulier en l'absence de tarification suffisante du carbone. Cela conduit à sous-estimer la

¹⁸⁴ Celle-ci peut être décomposée en l'effet de l'érosion tendancielle des recettes d'accise (+3 pts), les intérêts supplémentaires (+2 pts) et un terme résiduel (+1 pt).

dépense publique nécessaire pour atteindre la neutralité carbone. L'hypothèse *ad hoc* de relative inefficience des subventions, retenue pour renforcer le réalisme de ce scénario, est difficile à évaluer précisément (cf. *supra*). Les résultats sont en outre sensibles aux hypothèses de calcul retenues, notamment pour le signal-prix du carbone. Les effets macroéconomiques indirects de la décarbonation sont pris en compte de façon forfaitaire, hors modélisation, et sans différenciation entre les instruments (cf. *supra*), tandis que les enjeux de coopération internationale et d'acceptabilité ne sont pas pris en compte.

4.3 La transition bas-carbone érodera les recettes de fiscalité énergétique fossile

Cette section présente des estimations de la perte de recettes de fiscalité énergétique induite par le scénario de décarbonation envisagé par la SNBC 3, provisoire. Ces chiffres s'abstiennent de bouclage macroéconomique. Ces estimations sont affinées par rapport au rapport intermédiaire.

En France, la fiscalité de l'énergie est constituée essentiellement d'accise sur les énergies (carburants, électricité, gaz, charbon). Les énergies présentant le rendement le plus important sont les carburants (il s'agit de la fraction de l'accise sur les produits énergétiques, autres que les gaz naturels et les charbons, anciennement dite « TICPE »), l'électricité (ex « TICFE ») ou encore les gaz naturels (ex « TICGN »). Ces trois fractions représentent plus de 40 Md€ de rendement net (avant prélèvements sur les recettes de l'État) en 2019, année retenue comme point de référence en tant qu'année « normale » avant crises sanitaire et énergétique. L'accise sur les énergies fossiles représentait 33 Md€ de recettes fiscales nettes. Parmi ces recettes, environ 60 % sont revenues à l'État en 2022 et le reste est redistribué principalement aux collectivités et à l'Agence de Financement des Infrastructures de Transport de France (AFIT France)¹⁸⁵.

Le Ministère de la Transition Énergétique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche élabore des scénarios prospectifs d'évolution de la consommation des produits énergétiques dans le cadre des travaux en cours sur la révision de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC)¹⁸⁶. Ces scénarios sont réalisés selon deux conventions :

- « Avec mesures existantes » (AME), qui reflète les politiques et mesures adoptées jusqu'en 2021 et intègre les dernières données disponibles ainsi que le progrès technique tendanciel ;
- « Avec mesures supplémentaires » (AMS), qui traduit de son côté l'impact de nouvelles mesures qui seraient mises en œuvre de manière à atteindre les objectifs fixés en matière de neutralité carbone. **La suite de cette analyse retient les consommations d'énergie prévues par ce scénario.**

Les projections de la SNBC 3 présentées dans cette section sont issues des résultats du run 2, elles sont provisoires et seront amenées à évoluer avec la mise à jour de ces modélisations pour le scénario final de la SNBC 3.

Les projections de consommation d'énergie sont déclinées par principaux secteurs d'activité voire, pour certaines énergies, produit par produit, permettant d'intégrer les effets de structure de la consommation d'énergie. En effet, les tarifs d'accise sont le plus souvent déclinés par produit et/ou par type d'utilisateur/utilisation. Pour un produit donné (par exemple le gazole), certaines utilisations peuvent donner lieu à des tarifs réduits. En complétant, le cas échéant, les données détaillées de la SNBC par certaines hypothèses de ventilation entre types de consommations, l'analyse qui suit propose une actualisation des prévisions de l'impact de la transition énergétique sur les recettes d'accise sur les énergies.

¹⁸⁵ Sénat (2021), « [Projet de loi de finances pour 2022 : Le budget de 2022 et son contexte économique et financier](#) ».

¹⁸⁶ Les projections utilisées pour cette analyse correspondent à des simulations de travail et provisoires (issues du run 2 de la SNBC 3). Seules les consommations d'énergie finale hexagonales sont prises en compte.

L'érosion des recettes d'accise est quantifiée sans prendre en compte l'évolution de la fiscalité après 2019, de sorte à isoler l'effet de la transition bas-carbone sur les recettes depuis cette année de référence. Cette hypothèse permet d'isoler l'effet de l'évolution des consommations énergétiques mais fait abstraction des évolutions récentes ou prévues de la fiscalité. Les principales évolutions de l'accise sur les énergies fossiles entre 2019 et 2024 sont les suivantes : le tarif normal de TICGN a augmenté de 8 à 16 €/MWh au 1^{er} janvier 2024, puis à 17 €/MWh au 1^{er} janvier 2025, il est également indexé sur l'IPCHT à compter de 2025¹⁸⁷ ; concernant la TICPE, à compter de 2024, le tarif réduit sur le gazole non routier (GNR) est progressivement supprimé pour ses principaux usages non agricoles, soit un passage du tarif de 19 €/MWh au tarif normal du gazole de 59 €/MWh¹⁸⁸.

L'électrification réduit les recettes d'accise via un effet tarifs et un effet d'assiette : l'électricité est globalement moins taxée que les énergies fossiles et l'électrification s'accompagne de gains d'efficacité énergétique qui réduisent la consommation d'énergie finale. En moyenne, la tarification unitaire de la consommation d'électricité était en 2019 inférieure à celle d'une unité d'énergie fossile (incluant produits pétroliers et gaz naturel). Le tarif moyen pondéré¹⁸⁹ net¹⁹⁰ de TICFE était de 23 €/MWh en 2019. Par contraste, le tarif moyen pondéré net d'une unité d'énergie fossile (comprenant les produits pétroliers et les gaz naturels) était de 34 €/MWh en 2019. Ce constat varie néanmoins selon le combustible fossile considéré, l'accise sur le gaz naturel étant moins élevée que celles sur les produits pétroliers et l'électricité. La TICPE nette moyenne était de 49 €/MWh en 2019, contre une TICGN nette moyenne de 6 €/MWh en 2019. De plus, l'électrification induit une plus grande efficacité des consommations énergétiques, qui a pour effet de réduire l'assiette fiscale en diminuant la demande en énergie finale nécessaire pour satisfaire les mêmes besoins¹⁹¹.

Dans le scénario AMS de la SNBC, les pertes de recettes d'accise sur l'énergie en 2030 au regard de celles de 2019 pourraient atteindre 10 Md€ à fiscalité constante¹⁹² sous l'effet de l'évolution des assiettes. En 2050, elles atteindraient 30 Md€¹⁹³ (cf. Graphique 4).

- À horizon 2030, cet effet se décomposerait entre un effet de baisse des assiettes de l'accise sur les produits fossiles de 11 Md€, compensée par des rendements supplémentaires de l'électrification des usages pour l'accise sur l'électricité de l'ordre de 1 Md€.
- À horizon 2050, la totalité des recettes d'accise sur les produits fossiles disparaîtrait, soit 33 Md€. Les rendements supplémentaires de l'électrification des usages attendus pour l'accise sur l'électricité seraient de l'ordre de 3 Md€.

Ces estimations s'abstiennent de tout bouclage macroéconomique et notamment ne prennent pas en compte la réallocation de la consommation et de l'activité, qui auraient aussi des effets sur les recettes publiques.

¹⁸⁷ Article 92 de la LFI pour 2024

¹⁸⁸ Tarif légal, hors majorations régionales ; 61 €/MWh y compris majorations régionales.

¹⁸⁹ En cohérence avec les données de comptabilité nationale en base 2020.

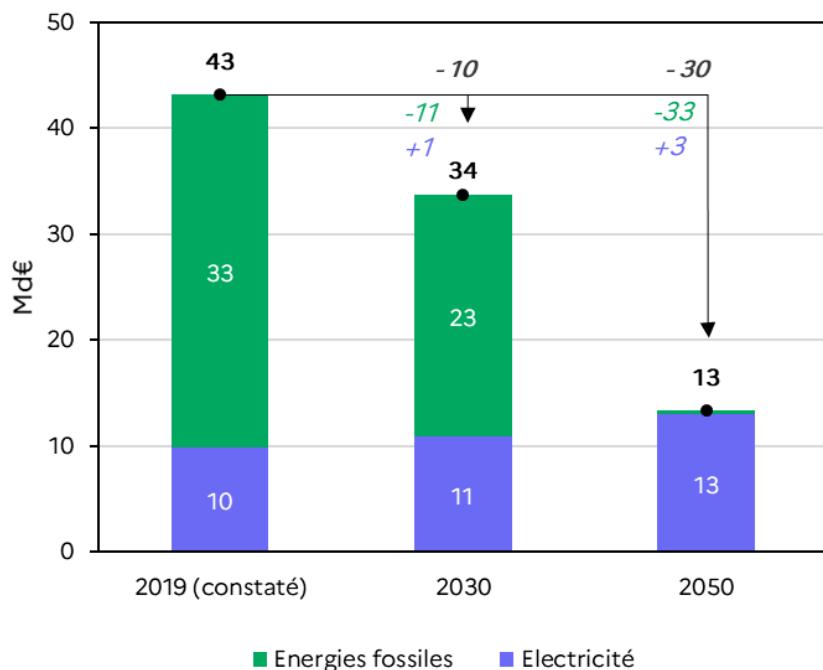
¹⁹⁰ Net des remboursements et dégrèvements.

¹⁹¹ Zenon Research (2023), “[Beyond primary energy: the energy transition needs a new lens](#)”.

¹⁹² Les tarifs d'accise sont supposés identiques par rapport à leur niveau de 2019.

¹⁹³ L'hypothèse de fiscalité constante ne tient pas compte des hausses de tarifs prévues ou envisagées depuis 2019 ni d'une évolution éventuelle des tarifs de l'accise. Ces projections font également l'hypothèse de prix HT constants entre 2019 et 2050.

GRAPHIQUE 4
Recettes d'accise sur les énergies dans le scénario AMS de la SNBC 3
à fiscalité constante par rapport à 2019



Source : DGEC pour les assiettes ; calculs DG Trésor.

Note : les recettes sur l'énergie fossile incluent l'ex-TICPE et l'ex-TICGN. Les recettes de l'accise sur l'électricité correspondent à l'ex-TICFE. Les chiffres présentés n'incluent pas la TVA sur l'accise ni sur le prix HT des énergies. Ces projections ont été réalisées avec une hypothèse de prix HT constants. Les chiffres présentés ne prennent pas en compte les effets retour sur la TVA et l'impôt sur les sociétés ni les hausses de tarif prévues ou envisagées depuis 2019.

ENCADRÉ 2

Actualisation des projections d'érosion des recettes d'accise de la DG Trésor par rapport au rapport intermédiaire de décembre 2023

Par rapport au précédent chiffrage présenté par la DG Trésor en décembre 2023, les pertes de rendement à horizon 2030 sont révisées à la baisse, de l'ordre de 3 Md€, passant de 13 à 10 Md€ par rapport à 2019, et inchangées à horizon 2050. Ce nouveau chiffrage intègre les principaux effets de structure de la consommation grâce à des données plus détaillées issues des scénarios élaborés dans le cadre de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC 3), désormais disponibles par type de produits énergétiques soumis à l'accise ou par activité. Pour le scénario AMS, la présente analyse trouve une érosion moins importante à horizon 2030 que dans les précédents chiffrages (10 Md€ contre 13 Md€ auparavant), mais identique en 2050 (30 Md€). La différence en 2030 vient principalement de l'estimation des recettes d'ex-TICPE. La baisse de la consommation de carburants routiers à cet horizon vient principalement du diesel, soumis à un tarif de TICPE moins élevé que les autres produits pétroliers comme l'essence. Tenir compte des effets de structure de consommation aboutit ainsi à une perte de rendement moins élevée qu'en supposant un taux moyen pour les produits pétroliers inchangé par rapport à 2019 (comme cela avait été fait dans le rapport intermédiaire).

L'érosion des recettes d'accise s'accompagnerait dans le transport routier d'une dégradation de la couverture des externalités (cf. Annexe 14.2.2).

ENCADRÉ 3

Exemples d'évolution de la tarification du secteur routier à l'étranger pour concilier les objectifs de rendement, de tarification des externalités et d'électrification (cf. Annexe 14.2.3)

Les pays scandinaves font évoluer leur tarification routière pour concilier l'électrification, la tarification des externalités et la soutenabilité budgétaire. En Norvège, leader mondial de l'électrification des voitures, des mesures fiscales avantageuses ont favorisé une part de marché record pour les véhicules électriques (88 % en 2022). Toutefois, le gouvernement réduit progressivement ces incitations, comme l'exemption de TVA ou de taxe d'immatriculation. Par ailleurs, la Norvège s'appuie de plus en plus sur les péages pour tarifer et réduire les autres externalités du secteur routier. À titre d'exemple, en 2023 un véhicule électrique doit payer 0,82 € par passage à Bergen en heures creuses contre 4,37 € pour un véhicule diesel en heure de pointe. La Suède, avec une électrification croissante (10 % du parc en 2022), a mis fin en 2022 au bonus à l'achat des véhicules électriques tout en maintenant le malus sur les véhicules thermiques. Le gouvernement a justifié cette décision par la baisse du coût total d'usage des véhicules électriques, se rapprochant de celui des véhicules thermiques. Le Danemark applique historiquement des taxes élevées à l'acquisition et à la propriété modulées en faveur des véhicules électriques, mais revoit progressivement à la baisse les avantages accordés aux véhicules électriques depuis plusieurs années et envisage une tarification kilométrique.

D'autres pays développent des systèmes de tarification kilométrique. L'Allemagne a mis en œuvre dès 2005 une taxe kilométrique sur les poids lourds, modulée en fonction des émissions de CO₂ depuis 2024. En 2024, l'Islande a introduit une taxe kilométrique de 4 c€/vkm basée sur des relevés de compteur. Exclusivement pour les véhicules bas-carbone dans un premier temps, qui paient moins de taxes sur les carburants que les véhicules thermiques, elle s'appliquera également sur ces derniers à l'avenir, en substitution des taxes actuelles.

5 Finance privée et décarbonation de l'économie française

Messages-clés

En complément des politiques climatiques, la mobilisation de la finance privée est essentielle à la réussite de la transition vers la neutralité carbone.

- La transition nécessite une réorientation des investissements et des flux de financement associés vers les activités bas-carbone et de transition, et une baisse des investissements fossiles.
- La stratégie pluriannuelle des financements de la transition écologique (SPAFTE), présentée par le Gouvernement pour la première fois en 2024, décrit les financements dédiés à la transition écologique et à la politique énergétique en France par tous les acteurs, publics et privés.

La sous-tarification de l'externalité climatique limite la rentabilité privée relative des activités bas-carbone et constitue un obstacle au financement de la transition. Des risques supplémentaires peuvent contribuer à une mauvaise allocation des capitaux au regard de la transition.

- Les instruments de politique climatique aux mains des États et collectivités (tarification carbone, subventions aux biens bas-carbone et investissements, réglementations) sont en première ligne pour combler le différentiel de rentabilité.
- Des risques supplémentaires (asymétrie d'information, écoblanchiment) peuvent contribuer encore davantage à une mauvaise allocation des capitaux et renchérir le coût de la transition vers la neutralité carbone.
- Des barrières transversales (non spécifiques au caractère bas-carbone), associées aux projets innovants et de jeunes entreprises peuvent être prégnants parmi les projets bas-carbone. En revanche, les investisseurs pourraient avoir une préférence pour les actifs bas-carbone.
- Les dispositifs de financement existants en France et en Europe contribuent à atténuer ces difficultés de financement (cf. SPAFTE).

La prise en compte des risques de transition (par exemple, risque de dévalorisation des « actifs échoués » fossiles) par le secteur financier paraît encore imparfaite et limitée.

- Il est encore difficile de mesurer ces risques avec précision mais leur prise en compte dans la réglementation prudentielle et la supervision progresse.
- Les secteurs financiers européens et français sont exposés aux risques de transition. Les premiers stress-tests climatiques présentent des impacts négatifs mais d'amplitude variable selon les approches, suggérant que ces risques sont encore maitrisables.
- L'exposition du système financier aux dommages causés par le changement climatique, à l'érosion de la biodiversité, et aux autres risques environnementaux est hors champ de ce rapport, mais susceptible d'être également importante.

Le cadre européen et français de la finance durable, le rapportage extra-financier des entreprises non financières, ainsi que les réglementations des activités financières, en particulier bancaires et assurantielles, visent à améliorer l'information et la transparence, et la confiance dans les actifs durables et en transition. Les labels durables mis en place en Europe et en France contribuent encore davantage à orienter les financements vers ces projets. Les dispositifs de

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

garantie, et les banques publiques actives dans le financement de la transition (Banque Européenne d'Investissement, Bpifrance, Caisse des Dépôts et Consignations), ont aussi un rôle à jouer pour lever les contraintes de financement de la transition et améliorer la coordination public-privé.

Des efforts de réduction des risques de transition portés par le secteur financier sont également entrepris. Les réglementations bancaires et assurantielles poussent à une meilleure prise en compte de ces risques par les institutions financières et renforcent les pouvoirs des superviseurs pour activer des leviers de réduction des risques.

De nouvelles obligations de transparence des entreprises, dont les institutions financières, permettront la production de données climatiques robustes et comparables relatives à l'activité des entreprises, préalable à la prise en compte de ces enjeux par les acteurs financiers. La directive CSRD prévoit ainsi la publication d'informations de durabilité vérifiées dans le rapport de gestion des grandes entreprises, PME cotées et de certaines entreprises de pays tiers. La directive sur le devoir de vigilance (CS3D) rendra à terme obligatoire pour les entreprises de plus de 1 000 salariés et 450 M€ de chiffre d'affaires, le fait de se doter de plans de transition, définis par référence à la CSRD, avec une obligation de moyens dans leur mise en œuvre.

D'autres avancées, notamment sur l'Union des marchés de capitaux, devraient permettre d'accroître les flux de financements longs et risqués, ce qui bénéficiera aux financements des activités bas carbone.

5.1 Des défaillances de marché et des barrières au financement de l'investissement bas-carbone, ainsi qu'à la bonne prise en compte des risques climatiques par le secteur financier subsistent

5.1.1 Les conditions de financement des activités et investissements bas-carbone sont possiblement pénalisées par le caractère innovant et incertain de ces projets

Differentes défaillances de marché contribuent à une mauvaise allocation spontanée des fonds privés, au regard de l'impératif de financement de la transition, qui justifient le développement du cadre de la finance durable (cf. Section 5.2). Pour une revue de littérature récente, cf. par exemple Bruegel (2024)¹⁹⁴.

Les activités et investissements bas-carbone peuvent connaître des conditions de financement différentes des autres activités, neutres et émissives, pour partie en raison de caractéristiques économiques de ces activités.

- D'une part, la sous-tarification de l'externalité climatique réduit la **rentabilité relative des activités favorables à la transition**, ce qui réduit l'offre de financement (cf. Chapitre 1).
- Cependant, même des activités favorables à la transition qui pourraient être rentables dans les conditions actuelles de prix de l'énergie et du carbone, et de subventions aux projets bas-carbone, peuvent être caractérisées par **différents niveaux de risque**.
 - L'incertitude réglementaire et la méconnaissance des politiques climatiques, ou la crainte de leur remise en cause, augmentent le risque.
 - Les activités bas-carbone pourraient aussi être marquées par un degré de nouveauté et d'innovation plus élevé que les équivalents carbonés. L'innovation bas-carbone est cruciale pour la réussite de la décarbonation et la réduction de

¹⁹⁴ Claeys G, Le Mouel M, Tagliapietra S, Wolff GB, Zachmann G. (2024) "Macroeconomics Decarbonisation Implications and Policies". Cambridge University Press.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

son coût, en particulier à horizon 2050 (cf. Section 8.3). À court et moyen terme, les besoins d'investissement pour la décarbonation identifiés¹⁹⁵ (+110 Md€ en 2030 par rapport à 2021) correspondent en revanche en majorité à des technologies déjà matures (véhicules électriques, isolation, vecteurs de chauffage).

- La rentabilité des projets bas-carbone peut être plus incertaine, du fait de problèmes de mesures, d'incertitudes sur les prix futurs de l'énergie ou du carbone, sur les volumes d'économies d'énergie attendus, ou sur la demande future pour des produits ou services nouveaux ou innovants.
- En revanche, des économies d'énergie substantielles à l'exploitation réduiraient les risques, pour des projets finançant l'adoption de technologies bas-carbone¹⁹⁶.
- À l'inverse, toutes choses égales par ailleurs (notamment risques technologiques ou règlementaires), les projets verts devraient en théorie être considérés comme moins exposés au risque de déclassement anticipé que les projets émissifs, et bénéficier d'une prime de risque inférieure à ce titre, même si ce risque est difficile à mesurer, et son reflet par les marchés est probablement imparfait (cf. Section 5.1.2).
- Dans le même sens, certains investisseurs peuvent manifester une préférence pour les actifs bas-carbone, plutôt que neutres ou intensifs en émissions, ce qui améliorerait leurs conditions de financement (cf. Encadré 3).

Dans l'ensemble, ces éventuelles **contraintes de financement** apparaissent difficiles à quantifier (cf. Encadré 3). En sus du caractère risqué et incertain de certaines activités bas-carbone, des asymétries d'information et un risque d'écoblanchiment aggravent les problèmes de financement des activités bas-carbone, difficultés que le cadre réglementaire de la finance durable a pour objectif de surmonter (cf. Section 5.2).

Les marchés financiers font face au **risque d'asymétrie d'information**: il peut être difficile d'évaluer par les différentes parties prenantes (le porteur de projet, et encore plus les investisseurs et les superviseurs) l'impact des activités sur les émissions de gaz à effet de serre, que ce soit pour des activités favorables ou défavorables à la décarbonation. Cela souligne le besoin d'une transparence accrue relative aux impacts des activités sur le climat et l'environnement.

Un **risque de greenwashing, par erreur ou malhonnêteté**, peut également exister sur les marchés financiers. Le greenwashing (ou écoblanchiment) est une situation dans laquelle la communication relative à la durabilité d'un produit ne reflète pas clairement sa durabilité sous-jacente¹⁹⁷. Les allégations trompeuses peuvent être mises en avant soit par erreur, soit intentionnellement, relevant alors de malhonnêteté. Le risque de greenwashing détériore la confiance des investisseurs dans des produits durables, et peut ainsi réduire les volumes de financement des activités réellement durables.

- ➔ **Les instruments de finance durable ont un rôle important à jouer pour compenser les contraintes de financement et améliorer la prise en compte des risques de transition** – par exemple, la dévalorisation des actifs associés à des activités intensives en émissions – (cf. Section 5.1.2 et Tableau 1).
- ➔ **La taxonomie européenne** est un outil central de l'architecture d'information de durabilité, et vise à définir les activités économiques durables sur la base de critères communs applicables à toutes les entreprises européennes. Les activités durables sont

¹⁹⁵ Gourmand L. (2024) « [Quels besoins d'investissements pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ?](#) », Document de Travail de la DG Trésor.

¹⁹⁶ Par exemple, les crédits de ménages de logements efficaces énergétiquement seraient associés à un risque de défaut moindre, selon Guin et Korhoner (2020) « [Does energy efficiency predict mortgage performance ?](#) », Document de travail de la Banque d'Angleterre.

¹⁹⁷ Cf. par exemple ESMA (2023) « [Progress report on Greenwashing](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

définies comme des activités qui apportent une contribution substantielle à l'un des six objectifs environnementaux (atténuation du changement climatique, adaptation au changement climatique, utilisation durable et protection des ressources aquatiques et marines, transition vers une économie circulaire, contrôle de la pollution et protection et restauration de la biodiversité) et qui ne nuisent pas de manière significative aux cinq autres.

- ➔ Des **obligations de rapportage**, qui entrent progressivement en vigueur, permettent d'objectiver et de comparer les efforts de transition des acteurs privés, entreprises, banques, assurances, et autres acteurs financiers.
- ➔ En particulier, la directive en matière d'information de durabilité des entreprises (dite « **CSRD** ») rend obligatoire la publication d'états de durabilité par les grandes entreprises à partir de l'exercice 2024, selon un calendrier d'entrée en vigueur progressive. Publiés avec le rapport de gestion, les états de durabilité présentent des informations quantitatives et narratives définies par les *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS) qui portent sur les impacts, risques et opportunités liés aux conditions et conséquences environnementales et sociales de l'activité de l'entreprise ainsi que sur son organisation. Ces informations comprennent notamment un bilan d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes et, pour les entreprises qui souhaitent s'en doter, de plans de transition climatique normalisés¹⁹⁸.

Les activités **innovantes bas-carbone** pourraient être particulièrement pénalisées par la faible profondeur des marchés de capitaux européens. Les activités innovantes sont actuellement davantage financées par capital risque, un modèle de financement davantage adapté à ces profils de risque que les crédits bancaires. Cela serait également le cas pour les activités bas-carbone innovantes, avec par exemple l'émergence de certains fonds spécialisés dans les « clean tech ». De Haas et Popov (2023)¹⁹⁹ montrent ainsi sur données de pays, secteurs, puis entreprises (belges), que la profondeur des marchés de capitaux serait déterminante pour l'adoption de technologies de décarbonation et l'innovation verte. L'atteinte d'une capacité de financement des investisseurs privés et le développement d'une expertise sur ces innovations de rupture seraient également déterminants. Les rapports Noyer²⁰⁰ et Draghi²⁰¹ font tous deux le constat de la faible profondeur des marchés de capitaux en Europe relativement aux États-Unis, et proposent un certain nombre de mesures pour surmonter ces difficultés.

¹⁹⁸ Pour une introduction aux ESRS, cf. Autorité des normes comptables (2024), « [Déployer les ESRS : un outil de pilotage au service de la transition](#) ».

¹⁹⁹ De Haas, R., Popov, A. (2023) « Finance and Green Growth », *The Economic Journal*.

²⁰⁰ Rapport Noyer (2024) « [Développer les marchés de capitaux européens pour financer l'avenir](#) ».

²⁰¹ Rapport Draghi (2024) « [The Future of European Competitiveness](#) ».

ENCADRÉ 1

L'Union des Marchés de Capitaux

La mobilisation de l'épargne, y compris en faveur de la transition écologique, serait fluidifiée à l'échelle de l'Union européenne (UE) par l'avancement du projet d'union des marchés de capitaux (UMC), rebaptisé par Ursula von der Leyen « Union de l'épargne et de l'Investissement » dans le contexte de la mise en place de la nouvelle Commission européenne.

L'objectif de cet approfondissement du marché européen unique des capitaux est d'atténuer la fragmentation des marchés financiers et de capitaux entre États-membres dans un contexte de sous-utilisation de l'épargne disponible, qui représente environ 34 800 Md€ en 2022²⁰². La transition écologique est identifiée depuis les plans d'action de la Commission européenne de 2015 et 2020 comme l'un des principaux axes d'investissement stratégique de l'Union européenne, et pourrait donc bénéficier tout particulièrement de la mobilisation accrue, à l'échelle européenne, de l'épargne et l'investissement à long terme.

5.1.2 Les risques financiers de transition sont encore mal pris en compte

D'autres défaillances limitent la bonne prise en compte des risques financiers de transition²⁰³ par les acteurs du secteur financier (bancaires, assurances, et autres).

Les risques de transition désignent les risques de pertes provoquées par une transition ordonnée (qui respecte la trajectoire de l'Accord de Paris) **ou désordonnée** (par exemple trop tardive et/ou trop abrupte) **vers des technologies bas-carbone et une économie neutre en carbone**. Mal anticipée, la transition vers la neutralité carbone pourrait donner lieu à une dévalorisation des actifs fossiles, qui seraient des « actifs échoués »²⁰⁴. Les capitaux échoués peuvent concerter l'ensemble des agents économiques (entreprises, ménages, secteur financier, etc.). Par exemple, une entreprise engagée dans des activités intensives en émissions de gaz à effet de serre pourrait voir sa valeur dépréciée, rencontrer des difficultés de financement, et éventuellement faire défaut. La transmission de ce risque de dévalorisation de certains actifs au secteur financier est ainsi qualifiée de « risque de transition ».

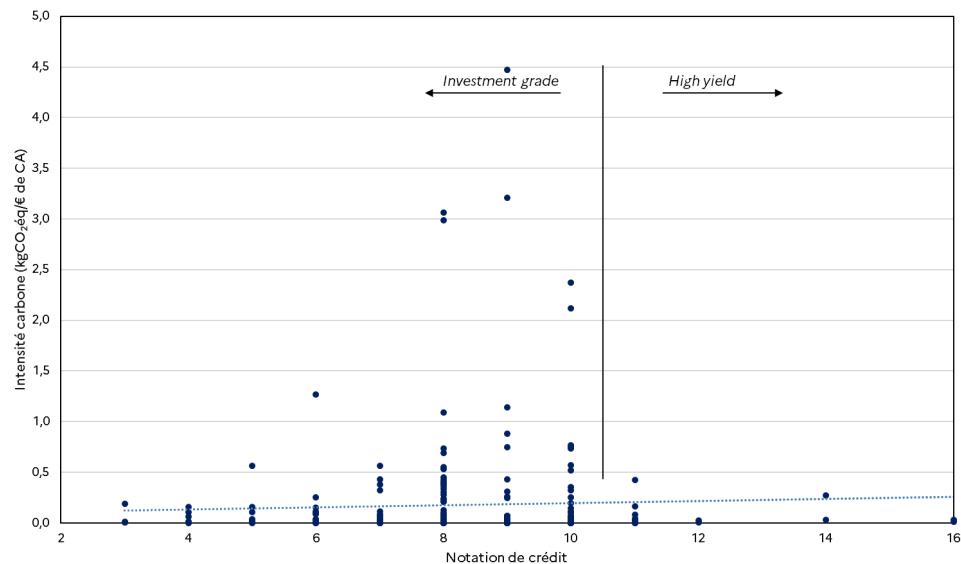
La mesure précise des risques de transition reste un défi. Ce défi concerne les porteurs de projets, les créateurs et investisseurs qui doivent les valoriser pour les financer (banques, assurances, fonds, etc.) et les institutions chargées de la stabilité financière et les gouvernements qui souhaitent limiter les risques financiers, à la fois aux niveaux microprudentiel et macroprudentiel, pour le système financier dans son ensemble. Les asymétries d'information limitent la valorisation du risque (cf. Section 5.1.1). Les risques financiers liés aux effets physiques du changement climatique, de l'érosion de la biodiversité, sont hors champ de cette analyse mais sont également importants.

²⁰² Eurostat (2023) « [Households – Statistics on financial assets and liabilities](#) » [consulté le 02/07/2024]

²⁰³ Le concept de « risque de transition » a été introduit par [Carney \(2015\)](#). Les risques liés aux effets physiques du changement climatique sont hors champ de cette analyse mais également importants.

²⁰⁴ France Stratégie (2023) « Les incidences économiques de l'action pour le climat » – Rapport thématique « [Marché du Capital](#) ».

GRAPHIQUE 1
Intensités des émissions de GES et notation de crédit (kgCO₂éq/€ de CA)
sur les émetteurs non financiers notés Eurostoxx 600



Source : Bloomberg ; Calculs DG Trésor. Note de lecture : l'intensité en émissions de GES (scopes 1 et 2) par € de chiffre d'affaires paraît peu corrélée à la notation de crédit, parmi les entreprises non financières de l'Eurostoxx 600.

Les risques de transition sont en général actuellement évalués au prisme des secteurs d'activités financés. Les activités les plus exposées aux risques de transition sont généralement considérées comme étant les secteurs les plus émissifs et les plus dépendants aux énergies fossiles, dans l'état actuel des technologies²⁰⁵. D'après ces mesures à un niveau sectoriel, les secteurs financiers européen et français sont exposés au risque de transition (cf. Encadré 2). Ces mesures sectorielles ne constituent toutefois qu'une mesure imparfaite du risque de transition, en raison d'une hétérogénéité forte des intensités d'émissions entre entreprises, des possibilités de réduction de ces intensités, et du caractère incertain de leur évolution à l'avenir, avec les transformations à venir de l'économie.

Ces difficultés d'évaluation du risque de transition des entreprises relèvent en grande partie du déficit d'informations robustes et comparables (en particulier prospectives) sur les trajectoires de réduction des émissions des entreprises et des moyens mis en œuvre pour atteindre ces objectifs, informations que la CSRD vise à améliorer. La mise en œuvre de la directive CSRD qui prévoit, pour les grandes entreprises²⁰⁶, la publication d'informations de durabilité normées et vérifiées par des auditeurs dans les rapports de gestion, permettra une évaluation plus fine du risque de transition des entreprises au niveau consolidé. La directive prévoit notamment la publication de bilans d'émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes (« scope 1, 2 et 3 »), de plans de transition climatique détaillant les leviers de décarbonation et les plans d'investissement associés, ainsi qu'une modélisation des risques financiers liés au risque de transition.

Le système financier et l'économie sont affectés par le risque de transition, et cela via plusieurs canaux de propagation. Les risques pourraient être contenus dans le cas d'une transition ordonnée, alors qu'ils seraient plus importants dans le cas d'une transition désordonnée²⁰⁷. Les

²⁰⁵ Cf. par exemple Battiston, S., A. Mandel, I. Monasterolo, F. Schütze et G. Visentin (2017) « [A climate stress-test of the financial system](#) », *Nature Climate Change*.

²⁰⁶ Au sens de la directive comptable (UE) 2013/34 du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013, article 3. Sont concernées à partir de 2025 sur l'exercice 2024 les entreprises cotées et institutions financières de plus de 500 salariés et/ou 50M€ de CA et 25M€ de bilan. À partir de 2026 sur l'exercice 2025, seront concernées les entreprises répondant à deux des trois critères suivants : plus de 250 salariés, 50M€ de CA et 25M€ de résultat.

²⁰⁷ Conseil européen du risque systémique (2023), « [Towards macroprudential framework for managing climate risk](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

conséquences de la matérialisation du risque de transition se diffuseraient notamment par transmission et amplification via les chaînes de valeur dans lesquelles sont insérés les actifs ou entreprises touchés. Les pertes économiques et financières engendrées peuvent alors se transmettre via des mécanismes de contagion et d'externalités au reste du système financier. Plusieurs exercices de stress-tests climatiques ont été menés par différentes institutions, mesurant des impacts négatifs mais d'amplitude variable en fonction des approches²⁰⁸.

Pour réduire les risques financiers, des mesures visant à réduire l'exposition aux secteurs bruns et à accroître les provisions peuvent être envisagées. Des mesures prudentielles sont progressivement mises en œuvre par les régulateurs pour réduire les risques financiers, notamment au niveau européen (cf. *infra*). Les effets financiers de ces mesures demeurent incertains, mais cela aurait *a priori* pour conséquence de durcir les conditions de financement des entreprises plus émissives ou plus exposées. Les effets de telles mesures sur les émissions de gaz à effet de serre sont encore plus incertains.

ENCADRÉ 2

Exposition au risque de transition des secteurs financiers européen et français

Des différences existent entre types d'investisseurs, mais l'ensemble du secteur financier européen paraît exposé au risque de transition. Selon une étude du JRC (Alessi and Battiston, 2023²⁰⁹), 12 % des investissements de portefeuilles européens (actions et obligations) sont dans des activités exposées au risque de transition, et 3 % sont alignés avec la taxonomie des activités durables.

Les banques françaises sont aussi exposées au risque de transition. Selon la Banque de France²¹⁰, en 2023, environ 40 % des prêts bancaires aux entreprises non-financières sont exposés aux risques de transition, soit 4 % de l'actif total des banques françaises. Le financement de la transition, mesuré par la proportion des actifs alignés avec la taxonomie européenne des activités durables, reste limité : 10 % des prêts bancaires sont alloués aux entreprises non financières alignées. Selon l'Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution et l'Autorité des Marchés Financiers²¹¹, en 2022, l'exposition totale des banques françaises aux actifs fossiles s'élève à 115 Md€, dont 3 Md€ d'exposition au charbon et 83 Md€ au pétrole et au gaz. Si cette exposition est limitée en comparaison des bilans bancaires, elle peut représenter, selon les établissements, une part plus substantielle des fonds propres.

Les assureurs et réassureurs français sont également exposés au risque de transition. Selon les mêmes sources, environ 25 % du portefeuille de titres dédié aux sociétés non financières des assureurs était fortement exposé au risque de transition en 2023. Sur les cinq dernières années, l'exposition au charbon continue de décroître pour les assureurs (-21 %, à 7,5 Md€), ces acteurs demeurant très peu exposés à ce secteur. Leur exposition aux secteurs les plus directement liés au pétrole et au gaz s'élève elle à 38 Md€ selon les chiffres du rapportage 29LEC (en application de la l'article 29 de la loi dite « Energie Climat »), représentant 2,2 % du bilan total des assureurs sous revue.

Enfin, cet encadré ne présente que les résultats portant sur les risques de transition, mais la Banque Centrale Européenne et le Comité Européen du Risque Systémique évaluent aussi l'exposition du secteur

²⁰⁸ Le stress-test climatique mené par l'ACPR en 2020 constituait un exercice pilote inédit, et avait adopté une approche bottom-up (c'est-à-dire à partir des informations fournies par le secteur bancaire). ACPR (2020), « [Une première évaluation des risques financiers dus au changement climatique ; Les principaux résultats de l'exercice pilote climatique 2020](#) ».

²⁰⁹ Alessi, L. et Battiston, S. (2023) « [Taxonomy alignment and transition risk : a country-level approach](#) », JRC Publications Repository

²¹⁰ Banque de France (2024) « [Les acteurs financiers français face au défi de la transition climatique](#) » Bloc-notes Éco, Billet de blog n°348.

²¹¹ AMF (2024) « [4ème rapport commun ACPR / AMF - Suivi et évaluation des engagements climatiques des acteurs de la Place](#) ».

financier aux risques physiques liés au changement climatique et à la dégradation de la biodiversité, qui est également importante.

ENCADRÉ 3

Quelles conditions de financement des activités bas-carbone, neutres et émissives ?

Des contraintes de financement transversales, non spécifiques à la transition, peuvent limiter les investissements bas-carbone. Pour les entreprises, les projets d'entreprises jeunes et portant sur des technologies innovantes, sur-représentés parmi les activités bas-carbone, pourraient être particulièrement vulnérables à ces contraintes de financement²¹² (cf. Section 8.3 sur l'innovation bas-carbone). Il existe en effet une asymétrie d'information entre l'inventeur et le financeur sur le potentiel d'une nouvelle technologie, conduisant ce dernier à privilégier les projets les moins risqués et aux bénéfices de court terme²¹³. De plus, la durée de rentabilisation des investissements et les besoins importants en capital sur certains projets bas-carbone²¹⁴ dans les phases de démonstration et d'industrialisation peuvent conduire à favoriser des projets dans des secteurs au développement plus rapide (e.g. software)²¹⁵. De ce fait, les entreprises qui développent des projets d'innovation bas-carbone feraient face à des contraintes financières particulièrement fortes²¹⁶. Ces contraintes de financement (incertitude des bénéfices, horizon long) peuvent aussi expliquer les difficultés pour les entreprises à faire des investissements bas-carbone²¹⁷. Certaines catégories de ménages, comme par exemple les plus modestes, sont aussi particulièrement concernés par des contraintes de crédit²¹⁸.

Dans l'ensemble, la littérature empirique sur l'interaction entre conditions de financement et caractère bas-carbone des activités n'est pas univoque, reflétant probablement les multiples paramètres en jeu. En moyenne, les activités bas-carbone pourraient être plus risquées et innovantes et à ce titre être financées à des conditions moins avantageuses que des activités neutres ou émissives. En revanche, en contrôlant pour un certain nombre de caractéristiques, cela serait moins, voire pas le cas, reflétant probablement une préférence des investisseurs pour les activités labelisées comme bas-carbone (« greenium » ou « green premium ») ou une certaine prise en compte du risque de transition, bien qu'imparfaite.

- **La littérature n'est pas univoque sur les conditions de financement des entreprises vertes, mais de nombreux travaux suggèrent plutôt de meilleures conditions de financement des entreprises moins intensives en émissions.** Les banques de la zone euro pourraient percevoir les entreprises moins intensives en émissions comme plus risquées que les plus émissives²¹⁹. Mais de nombreux travaux nuancent ce résultat. En Italie, les entreprises vertes (qu'elles déposent des brevets verts, ou qu'elles

²¹² Aghion P., A. Bergeaud, M. De Ridder, et J. Van Reenen (en cours) « [Lost in Transition: Financial Barriers to Green Growth](#) ».

²¹³ Cervantes M., et al. (2023), op.cit. (p.24)

²¹⁴ Hall B.H. et J. Lerner. (2010) « [The financing of R&D and innovation](#) », Lerner, H. et Nanda, R. (2020) « [Venture capital's role in financing innovation: what we know and how much we still need to learn](#) »

²¹⁵ Lerner (2020) op. cit.

²¹⁶ Howell, S. T. (2017) « [Financing innovation: Evidence from R&D grants](#) », *American economic review*.

²¹⁷ Costa H., L. Demmou, G. Franco, S. Lamp (2024) « [The role of financing constraints and environmental policy on green investment](#) », *Economics Letters*, Vol 239.

²¹⁸ France Stratégie (2024) « [Investissements bas carbone : comment les rendre rentables ?](#) ».

²¹⁹ Buchetti B., I.Miquel-Flores, S.Perdichizzi, A. Reghezza (2023) « [Greening the economy: how public-guaranteed loans influence firm-level resource allocation](#) », Document de Travail de la BCE, estiment que les banques perçoivent les entreprises de la zone euro moins intensives en émissions comme plus risquées que les entreprises intensives, selon une mesure de la probabilité de défaut, à secteur, taille, et caractéristiques financières données.

opèrent dans un secteur vert), auraient un accès plus facile aux financements externes²²⁰. Dans le même sens, en zone euro, les firmes les moins émissives ou dotées d'une stratégie de baisse des émissions bénéficieraient pour leurs crédits bancaires d'un taux d'intérêt inférieur relativement aux plus émissives²²¹. Pour les obligations, la littérature décelait un « *greenium* » pour les obligations émises par les États et entreprises, permettant aux produits labelisés verts (à maturité, risque de crédit et entité équivalents) de se financer à moindre coût, mais il se serait estompé dans la zone euro au cours des dernières années²²².

- **Le coût de financement des entreprises paraît légèrement défavorable aux entreprises ayant les plus mauvaises performances environnementales, traduisant une certaine incorporation du risque de transition dans le risque de crédit, mais possiblement imparfaite.** Selon différents travaux, les entreprises les plus émissives ont un coût de la dette et de capital accru^{223, 224, 225}.
- **Pour les ménages, les taux de financement pourraient dépendre de la nature des investissements bas-carbone²²⁶.**

5.2 Le cadre de la finance durable vise à améliorer la transparence et la prise en compte des risques de transition par le secteur financier

Les instruments de finance durable ont un rôle important à jouer pour compenser les contraintes de financement et améliorer la prise en compte des risques de transition. Ils permettent de compléter les instruments de politique climatique (subventions aux biens bas-carbone, réglementations), qui restent en première ligne pour compenser la sous-tarification de l'externalité climatique et combler le différentiel de rentabilité défavorable aux activités bas-carbone.

Sur proposition de la Commission européenne, les législateurs européens mettent en place depuis plusieurs années un cadre réglementaire complet ayant pour objectif (i) d'assurer une pleine transparence sur la prise en compte par les entreprises financières et non financières des impacts, risques et opportunités liés aux enjeux de durabilité de leurs activités, ainsi que la comparabilité des pratiques (règlement sur la publication d'informations de durabilité dans le secteur des services financiers -SFDR-, directive relative à la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises -CSRD-, règlement sur les notations ESG) et (ii) de définir un langage commun et des standards volontaires sur les activités et produits financiers durables (taxonomie européenne, standards volontaires d'obligations vertes et d'indices financiers).

Le Tableau 1 présente les principaux instruments portant sur les entreprises non financières et les banques et assurances, en premier lieu la CSRD et la directive sur la diligence raisonnable des entreprises en matière de développement durable (CS3D) pour ce qui concerne les exigences trans-sectorielles, et le règlement sur les exigences prudentielles (CRR) et la directive sur la

²²⁰ Oliviero T., S. Rondinella et A. Zazzaro (2024). « [Are green firms more financially constrained? The sensitivity of investment to cash flow,](#) » CSEF Working Papers 700.

²²¹ Altavilla, C. et al (2023) « [Climate risk, bank lending, and monetary policy](#) », VoxEU Column

²²² ECB / ESRB Project Team on climate risk (2023) « [Towards macroprudential frameworks for managing climate risk](#) », Chart 15.

²²³ Bolton, P. et Kacperczyk, M. (2021) « [Do investors care about carbon risk?](#) ».

²²⁴ Wang Y., S. Shen, J. Xie, H. Fujii, A.R. Keeley, et S. Managi (2024) « [How corporate climate change mitigation actions affect the cost of capital](#) », *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 31.

²²⁵ Capasso G., G. Gianfrate et M. Spinelli (2020) « [Climate change and credit risk](#) », *Journal of Cleaner Production*, Vol. 266.

²²⁶ Giraudet, L.-G., A. Petronevich et L. Faucheux (2021) « [Differentiated green loans](#) », *Energy Policy*. En France, en 2015-2016, les crédits associés à des rénovations énergétiques étaient financés à des taux plus élevés que les équivalents non énergétiques, mais les voitures électriques à des taux inférieurs aux voitures thermiques.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

surveillance prudentielle (CRD) pour les banques. Sur ces sujets, la directive Solvabilité 2 réplique en partie les exigences du secteur bancaire pour les acteurs de l'assurance assujettis.

S'agissant du cadre de transparence sur les informations de durabilité, sa mise en place a été une priorité portée par la France afin de renforcer la disponibilité de données de haute qualité, fiables et comparables, ce qui permettra de mieux évaluer l'exposition des entreprises aux risques et opportunités environnementales, et d'améliorer la prise en compte des facteurs environnementaux dans les décisions d'investissement.

La taxonomie européenne est un outil central de l'architecture d'information de durabilité (cf. *supra*).

La directive en matière d'information de durabilité des entreprises (CSRD) rend obligatoire la publication d'états de durabilité par les grandes entreprises à partir de l'exercice 2024, selon un calendrier d'entrée en vigueur progressive (cf. *supra*). Pour les gestionnaires d'actifs et conseillers financiers, **le règlement sur la publication d'informations en matière de durabilité dans le secteur des services financiers (SFDR)** prévoit des obligations de transparence pour les gestionnaires d'actifs et les produits qu'ils commercialisent, notamment sur la part des investissements dans des entreprises actives dans le secteur des énergies fossiles ; **des labels existent également** (cf. Encadré 4).

La mise en place de ce cadre réglementaire et son appropriation par les acteurs économiques prend du temps et n'est pas terminée (entrée en application progressive des différents textes, poursuite des travaux sur les actes de niveau 2). Au niveau français, des obligations complémentaires de transparence ont été mises en place, notamment avec l'article 29 de la loi énergie-climat de 2019.

ENCADRÉ 4

Les différents instruments de financement publics en place visent à répondre aux défaillances de marché identifiées

La stratégie pluriannuelle des financements de la transition écologique (SPAFTE)²²⁷ publiée en octobre 2024 présente les différents instruments de financement de la transition existants.

Les dispositifs de garantie verte par l'État, tels que ceux opérés par Bpifrance, visent à dérisquer les placements, encouragent les banques à octroyer des crédits sur des projets plus risqués, permettent de surmonter une éventuelle moindre appétence des acteurs traditionnels à financer les activités durables, et signalent la qualité des projets pour attirer d'autres investisseurs privés. Bpifrance propose ainsi de nouveaux dispositifs de garantie verte financés par l'État pour faciliter le financement, par les établissements bancaires, de projets en lien avec la transition écologique et énergétique des PME, tel que le Fonds Garantie Electricité Renouvelable (FGER).

Un nouveau type d'obligations à destination des PME et des ETI, dites « **obligations transition** » (OT), est en cours d'élaboration²²⁸ et vise notamment à permettre de mieux financer à long terme ces entreprises, en faveur de la transition. Dispositif mis au point avec les assureurs et les sociétés de gestion, et qui bénéficie d'une garantie de l'État²²⁹, il doit être lancé au cours du premier semestre 2025, avec un fléchage

²²⁷ *Stratégie pluriannuelle des financements de la transition écologique et de la politique énergétique nationale* (2024).

²²⁸ Décret n° 2024-752 du 7 juillet 2024 relatif à la garantie de l'État prévue à l'article 185 de la loi n° 2023-1322 du 29 décembre 2023 de finances pour 2024 et Arrêté du 19 novembre 2024 relatif à la garantie de l'État prévue à l'article 185 de la loi n° 2023-1322 du 29 décembre 2023 de finances pour 2024.

²²⁹ Pour permettre à ces financements d'atteindre leur plein potentiel de diffusion, le montant maximum de la garantie est fixé à 5 Md€ et la garantie de l'Etat couvrira l'ensemble des pertes finales du fonds jusqu'à un maximum de 30 % de l'encours du fonds.

vers l'amélioration de la performance environnementale des entreprises et le développement d'activités qui contribuent à la transition écologique. Dans la pratique, le dispositif permettra d'émettre des financements de long terme (8 ans), avec un différé d'amortissement de 4 ans, ce qui les distinguera de l'offre existante afin de répondre aux besoins de financement les moins aisément couverts par le marché.

Les banques publiques fournissant des financements à la transition, comme la Caisse des Dépôts et Bpifrance, ou encore la Banque Européenne d'Investissement, peuvent également encourager l'octroi de crédit, et cibler des projets soumis à des défaillances de marché spécifiques.

Le label « investissement socialement responsable » (ISR) vise à améliorer l'information disponible pour les épargnants, et permet aux épargnants de choisir des supports intégrant dans leur gestion des principes environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG). Le label « France finance verte » ou « Greenfin » est également un label d'État, créé en 2015, qui cible uniquement la transition énergétique et écologique, tout en tenant compte de critères ESG.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

TABLEAU 1

Principaux instruments du cadre de finance durable portant sur les entreprises non financières, les banques et les assurances

Objectif	Instrument	Toutes les entreprises	Banques (en plus des exigences transsectorielles)	Assurances (en plus des exigences transsectorielles)
Information, transparence	Labels des activités durables	<p>Définition de la taxonomie des activités durables</p> <p>Définition de labels selon des critères communs : EU Paris-Aligned Benchmarks ; EU Climate transition benchmark ; EU Taxonomy-Aligning Benchmarks (TABS)</p> <p>Définition de labels nationaux pour les produits d'épargne (dont ISR et Greenfin)</p>		
	Rapportage des activités favorables/alignées à la transition selon des standards communs	Rapportage facultatif EU Paris-Aligned Benchmarks (EU PABs) EU Taxonomy-Aligning Benchmarks	Rapportage obligatoire Green Asset Ratio (GAR) : part du bilan exposé à des activités respectant les critères de la taxonomie. Book Taxonomy Alignment Ratio : complète le GAR pour des entités hors NFRD (Non Financial Reporting Directive) et CSRD.	
	Rapportage des activités défavorables à la transition	Rapportage obligatoire CSRD : Emissions de scopes 1, 2, 3 ; KPI environnementaux Application progressive, concernera à terme les PME cotées et les grandes entreprises NFRD	Rapportage obligatoire CRR3 : Risques ESG et expositions fossiles Les banques doivent publier des informations sur leurs expositions aux risques ESG, ainsi que la façon dont la gestion de ces risques est prise en compte dans leur stratégie.	
Évaluation des risques par les superviseurs	Évaluation des risques, Stress-tests			Stress-tests climatiques, menés à la fois bottom-up par les institutions bancaires et assurantielles et top-down (BCE, Banque de France)
Réduction des risques de transition	Plans de transition	La CS3D oblige les grandes entreprises à adopter et mettre en place un plan de transition aligné avec la neutralité carbone. Ce plan doit prévoir des étapes quinquennales.	La CRR3 et la CRD6 imposent aux banques l'obligation d'établir un plan de transition prudentiel climatique, à partir de 2026. L'objectif est d'être aligné et doit prévoir des étapes concrètes.	La révision de Solvabilité 2 impose aux assureurs l'obligation d'établir un plan de transition prudentiel climatique, à partir de 2027. Le plan doit être aligné avec l'objectif de neutralité carbone et doit prévoir des étapes concrètes de mise en œuvre.
	Suivi des plans de transition	La CS3D prévoit des amendes administratives.	La CRD6 permet aux superviseurs d'exiger une réduction des risques, cibles et actions, et de modifier les plans de transition.	L'EIOPA rédige actuellement des normes minimales et des méthodes de référence pour l'identification, la mesure, la gestion et le suivi des risques en matière de durabilité, ainsi que pour le contenu de ces plans.
	Réduction des risques systémiques		La CRD6 intègre les risques climatiques au sein des risques macro-prudentiels et permet au superviseur d'exiger un accroissement du coussin pour risque systémique.	À partir de 2027, dans l'identification et l'évaluation de ses risques (ORSA), l'entreprise concernée évalue si elle est exposée de manière importante aux risques liés au changement climatique. Le cas échéant, elle définit au moins deux scénarios de changement climatique à long terme, et analyse l'incidence de ces scénarios sur son activité.

6 Comprendre l'effet différencié de la transition sur les ménages pour les accompagner

Messages-clés

L'impact de la transition bas-carbone sur les ménages français dépend notamment de leur empreinte carbone et de la possession de "capital brun" (voiture émissive, logement chauffé aux énergies fossiles). Avant prise en compte des aides, la transition représentera un coût relativement plus important pour les ménages modestes, et pour les ménages ruraux, avec de fortes disparités au sein des ménages de ces catégories.

- L'empreinte carbone des ménages français croît avec leur revenu, mais moins vite que ce dernier, rendant les ménages modestes globalement plus vulnérables à la transition, avec toutefois de fortes disparités au sein d'un même décile de revenu. Des difficultés méthodologiques compliquent l'évaluation précise de l'empreinte carbone et de sa variation avec le revenu.
- Les logements mal isolés, dits passoires thermiques, sont davantage occupés par les ménages modestes, mais sont davantage détenus par des ménages aisés, qui vont devoir réaliser des investissements dans la rénovation énergétique. Les ménages modestes sont moins motorisés, et possèdent des véhicules plus anciens.
- Les ménages ruraux sont plus exposés à la transition que les ménages urbains, en particulier du fait de leur usage plus intensif d'une voiture thermique. Un ménage moyen du premier décile de revenu en zone rurale émet autant qu'un ménage urbain du sixième décile, du fait de l'utilisation de la voiture individuelle.
- La transition bas-carbone aura également un impact sur les revenus des ménages, encore incertain, qui dépend notamment de la composition des revenus (capital ou travail), du secteur d'activité, et des effets de la transition sur le marché du travail (cf. Chapitre 7).

Les effets de la transition bas-carbone dépendent de manière cruciale des politiques publiques qui seront mobilisées pour mettre en œuvre la transition, et pour accompagner les ménages.

- La tarification carbone toucherait davantage les plus modestes, en proportion de leur revenu. Des mesures d'accompagnement peuvent néanmoins être introduites de façon ciblée pour accompagner les ménages modestes et améliorer l'acceptabilité de la transition bas-carbone. Les importantes disparités d'exposition à la transition à l'intérieur d'une même catégorie de revenu compliquent toutefois le ciblage des mesures d'accompagnement.
- Les normes environnementales et climatiques ont également des coûts et des effets distributifs, qu'il faut étudier au cas par cas.

La France a notamment mis en place des dispositifs pour réduire le surcoût lié aux investissements bas-carbone. Ces dispositifs sont de plus en plus ciblés sur les ménages modestes.

- Les subventions (pour l'achat de voitures électriques, le changement de vecteur de chauffage...) sont de plus en plus ciblées sur les ménages modestes. Au total, elles réduisent considérablement le surcoût d'investissement pour l'ensemble des ménages, et, sur la base des cas-type choisis pour ce chapitre, rendent les investissements (hors isolation) rentables, mais sur des durées parfois longues.

- Les dispositifs de prêts à taux zéro visent à répondre aux contraintes de financement des ménages, en particulier modestes, pour réaliser les investissements dans la rénovation énergétique.

6.1 La transition bas-carbone touchera les ménages de manière différenciée

6.1.1 L'empreinte carbone des ménages est hétérogène et dépend notamment de leur revenu et de leur localisation

L'empreinte carbone est une mesure des émissions attribuables à un individu ou à un ménage en raison de sa consommation. Elle est généralement estimée à partir de la consommation (y compris produits importés), en appliquant des facteurs d'émissions pour chaque poste de consommation (alimentation, biens et services, etc.). Elle est estimée pour l'économie française dans son ensemble²³⁰, à 9,4 tCO₂éq par personne en 2023, soit 20,7 tCO₂éq par ménage. L'empreinte carbone peut être déclinée par catégories de ménages, mais ces travaux sont plus incertains.

Le revenu constitue un déterminant important de l'empreinte carbone d'un ménage. L'empreinte carbone des ménages français croît avec leur revenu (cf. Graphique 1), mais à un rythme inférieur à ce dernier (le revenu d'un ménage du 5^{ème} quintile est 6 fois supérieur à celui d'un ménage du 1^{er} quintile, alors que son empreinte carbone n'est que 1,4 à 2,4 fois supérieure selon les études²³¹). Cela rend les ménages modestes proportionnellement plus vulnérables à la transition. Parmi les différentes catégories d'émissions, les émissions directes du transport augmentent de manière significative avec le revenu, les plus modestes parcourant moins de kilomètres (en voiture), et étant moins motorisés²³². Néanmoins, les dépenses de carburant représentent une part plus importante du revenu disponible des plus modestes (6 % pour le 1^{er} quintile contre 2 % pour le 5^{ème} quintile²³³). Les émissions directes liées au logement varient moins avec le revenu, et sont principalement liées à l'énergie de chauffage²³⁴. Les émissions indirectes liées à la consommation de biens et services augmentent également avec le revenu, néanmoins il existe des difficultés méthodologiques dans l'estimation de ces émissions indirectes (cf. Encadré 1).

²³⁰ SDES, [Empreinte carbone](#).

²³¹ Cf. études citées dans le graphique 1.

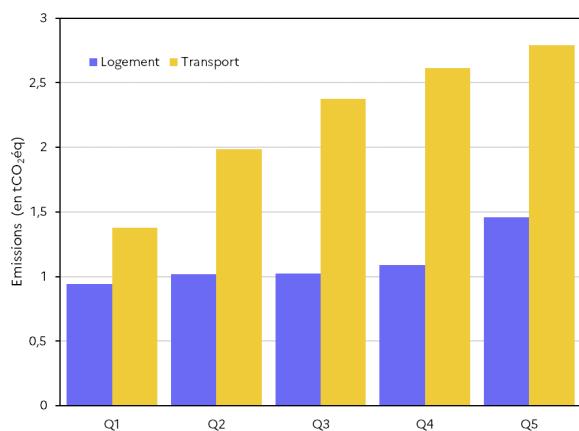
²³² Cf. par exemple Pottier et al. (2020). « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) » ou Citepa (2023). « [Répartition de l'empreinte carbone des Français](#) ».

²³³ CGDD. Modèle Prometheus, sur l'année 2022. Cf. « [Rapport sur l'impact environnemental du Budget de l'Etat](#) » (2024), p. 232.

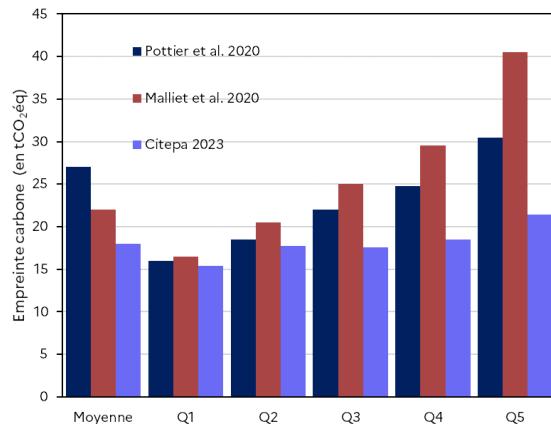
²³⁴ Cf. Pottier et al. (2020), « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) »

GRAPHIQUE 1
Estimations des émissions des ménages selon le revenu

(a) Émissions directes des ménages, selon le quintile de revenu, en 2022.²³⁵



(b) Empreinte carbone des ménages (émissions directes et indirectes) selon trois études sur la France²³⁶



La localisation constitue également un des déterminants principaux de l'empreinte carbone, notamment du fait des émissions directes de CO₂ liées au transport. Les ménages ruraux sont plus motorisés que les ménages urbains, et parcourent davantage de kilomètres. À titre d'illustration, un ménage moyen du premier décile de revenu en zone rurale émet autant qu'un ménage urbain du sixième décile²³⁷.

La connaissance de l'empreinte carbone constitue une première étape indispensable à l'évaluation des effets distributifs des politiques de transition, mais ne peut être considérée comme un indicateur suffisant pour élaborer des politiques publiques. L'empreinte carbone permet d'éclairer sur l'exposition des ménages à court terme à des hausses de tarification carbone, mais ne permet pas d'appréhender la réaction des ménages face à une politique publique, et la possibilité de réduire certaines émissions (système de chauffage, dépendance à la voiture individuelle).

²³⁵ Source : CGDD, Modèle Prometheus, version décembre 2024 (publication à venir). Les émissions directes incluent l'utilisation de carburants pour les véhicules personnels, et d'énergies fossiles dans le logement pour le chauffage ou la cuisson. Elles excluent les émissions liées à l'utilisation de transport en commun et à l'aviation.

²³⁶ Pottier et al. (2020). « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) » ; Malliet (2020) « [L'empreinte carbone des ménages français et les effets redistributifs d'une fiscalité carbone aux frontières](#) » ; Citepa (2023). « [Répartition de l'empreinte carbone des Français](#) ». Note : pour l'étude du Citepa, l'empreinte carbone d'un décile de revenu est attribuée en retenant un nombre moyen de 2,2 individus par ménage.

²³⁷ Pottier et al. (2020). « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) », graphique 2b.

ENCADRÉ 1

Difficultés méthodologiques de mesure de l'empreinte carbone

L'estimation de la distribution de l'empreinte carbone à partir de données de consommation pose plusieurs difficultés méthodologiques²³⁸, dont certaines risquent de surestimer l'empreinte carbone des plus aisés. L'approche qui consiste à partir d'enquêtes de consommation telle que l'enquête Budget des Familles réalisée par l'INSEE, et à appliquer des facteurs d'émissions pour chaque poste de consommation (alimentation, biens et services, carburant, ...), peut générer certains biais :

- **Effet prix** : L'approche par la consommation en valeur (mise en œuvre par exemple par Pottier et al. 2020, et Malliet et al. 2020) extrapole les émissions à partir des dépenses des ménages, ce qui surestime les émissions des plus aisés qui achètent des biens équivalents plus chers²³⁹. Par exemple, la production d'une machine à laver à 600 euros n'émet pas deux fois plus de gaz à effet de serre qu'une machine à 300 euros. À l'inverse, si le prix plus élevé reflète des modes de production plus verts, le bien le plus cher pourrait même être associé à des émissions plus faibles. Dans la mesure où les ménages aisés paient souvent plus cher pour une même catégorie de biens, la méthode introduit un biais qui conduit à surestimer les émissions des ménages aisés. Cela est particulièrement vrai pour des biens de consommation comme la viande, où il existe de fortes différences dans le prix payé par les ménages modestes et ménages aisés. En moyenne, une augmentation du revenu de 1 % serait associée à une augmentation du prix des biens achetés de 0,2 %. Une étude de l'INSEE²⁴⁰ a mis en évidence sur des exemples de biens alimentaires (riz, vin, jus de fruit) que cet effet prix conduit à une mauvaise estimation de l'empreinte notamment aux extrêmes de la distribution : les émissions du premier décile sont sous-estimées quand celles du dernier décile sont surestimées.
- **Effet d'intensité carbone** : en s'appuyant sur un facteur d'émission « moyen » pour un poste de dépense, les études ne permettent pas de prendre en compte la variabilité des émissions entre des biens d'une même catégorie. Par exemple, dans le domaine de l'alimentation, il existe une très forte hétérogénéité dans l'impact environnemental de la production, selon le mode et le lieu de production. L'étude de l'INSEE estime que dans le cas de la consommation d'huile, ignorer cette variabilité a tendance à surestimer l'empreinte carbone des plus aisés, dans la mesure où ceux-ci consomment davantage d'huile d'olive, et moins d'autres huiles dont le contenu carbone est plus élevé. Dans la mesure où cet effet pourrait conduire à sous-estimer les émissions des plus aisés pour d'autres catégories de biens, il est difficile de dire le sens et l'ampleur de l'effet agrégé.

Des enquêtes dédiées renseignant sur la quantité consommée permettent de s'affranchir de ces biais et estiment des écarts plus faibles entre différents niveaux de revenu. Une étude du Citepa²⁴¹ s'appuie sur une enquête dédiée interrogeant les individus plus finement sur leurs habitudes de consommation (nombre de kilomètres parcourus dans l'année, habitudes alimentaires) et quantifie l'empreinte carbone avec l'aide de l'outil NosGestesClimat de l'ADEME. Cette enquête peut néanmoins poser d'autres difficultés liées à la méthodologie d'enquête, comme la sous-déclaration, et n'est pas calibrée pour être cohérente avec les données de la comptabilité nationale.

Dans tous les cas, il est difficile d'attribuer aux déciles de ménages les émissions liées aux administrations publiques et aux investissements. Les émissions du fait des dépenses d'investissement ou de formation brute de capital fixe représentent 16 % des émissions françaises. Elles sont difficiles à attribuer, car hormis les achats de biens immobiliers ou les travaux, les investissements sont réalisés par les entreprises ou les

²³⁸ France Stratégie (2023), « [Les incidences économiques de l'action pour le climat – Chapitre Enjeux distributifs](#) ».

²³⁹ Un ménage aisé dépensera sensiblement plus d'argent pour un bien matériel durable répondant à un besoin similaire, par exemple en achetant un produit plus cher (voiture, machine à laver) mais pas forcément plus émetteur.

²⁴⁰ INSEE, « [Dis-moi ce que tu consommes, je te donnerai ton empreinte carbone](#) »

²⁴¹ Citepa (2023). « [Répartition de l'empreinte carbone des Français](#) ».

pouvoirs publics. Pour être cohérent avec une approche par la consommation, il faudrait pouvoir attribuer les émissions des investissements aux consommateurs finaux du capital. Plusieurs méthodes existent pour attribuer les émissions liées aux administrations publiques : attribution « civique » (répartition égale entre individus, la plus courante dans les études), à hauteur de la contribution à l'impôt, ou à hauteur de la consommation de services publics.

ENCADRÉ 2

Comparaison internationale des empreintes carbone

Au niveau international, la contribution aux émissions de gaz à effet de serre est inégalement répartie entre les individus. Si en 1990 ces inégalités étaient principalement liées à des inégalités entre pays, elles sont de plus en plus le fait des inégalités à l'intérieur des pays, notamment du fait de la croissance des inégalités en Chine et en Inde²⁴². Les 10 % de la population les plus émetteurs, principalement situés dans les pays développés, sont responsables d'environ 50 % des émissions tandis que 50 % des individus ne contribuent qu'à 10 % des émissions²⁴³. En moyenne, même les ménages les plus modestes des pays développés émettent davantage que les ménages moyens dans les pays en développement et les plus émetteurs des pays les moins avancés.

L'empreinte carbone moyenne des pays est fortement liée au niveau de revenu, mais pas seulement. L'écart entre pays est plus important lorsqu'on raisonne en empreinte carbone plutôt qu'en émissions territoriales, c'est-à-dire lorsque les émissions dues à la production de biens sont réattribuées aux pays où les biens sont consommés, les pays développés étant principalement « importateurs d'émissions » via le commerce international. Estimée par les différences entre pays, l'élasticité de l'empreinte au PIB est estimée à 0,8 pour les pays de l'OCDE. Au sein de l'OCDE, il existe une plus grande variabilité de l'empreinte non expliquée par le revenu ; l'empreinte carbone française est notamment plus faible que ce qui serait prédict par le seul revenu par habitant, grâce notamment à un mix électrique peu carboné. En 2019, l'empreinte GES est de 10 tCO₂eq/habitant en France, 20 tCO₂eq/habitant aux États-Unis, et 8 tCO₂eq/habitant en Chine, tandis qu'elle est égale en moyenne à 4 tCO₂eq/habitant dans les pays non membres de l'OCDE²⁴⁴.

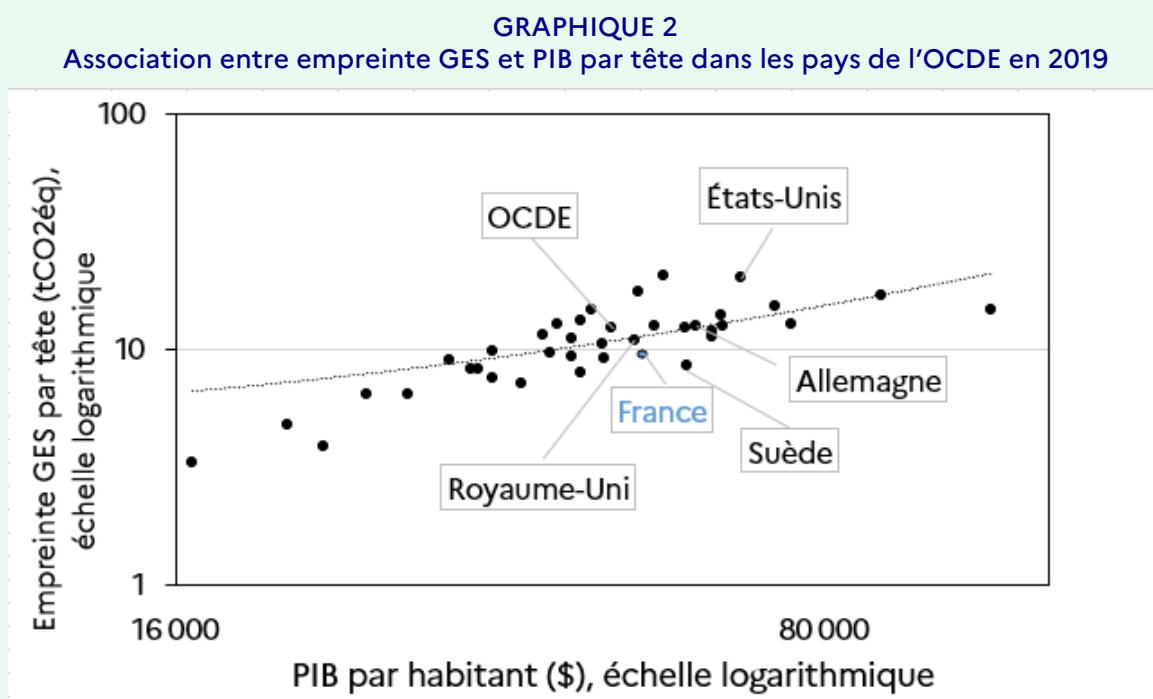
Au sein des pays, l'empreinte carbone dépend aussi fortement du niveau de revenu d'un ménage, bien qu'il existe des disparités selon les contextes. Les empreintes carbone varient au sein des pays du fait de différents niveaux de développement, des structures économiques ou encore des habitudes de consommation. À l'intérieur des pays, l'élasticité-revenu de l'empreinte carbone est supérieure à 1 dans des pays à faibles niveaux de revenus, notamment dans les pays les moins avancés²⁴⁵ (les ménages modestes y consomment peu d'énergie), et inférieure à 1 au sein des pays développés.

²⁴² [Lettre Trésor-Éco n° 210 \(Novembre 2017\), " Mondialisation, croissance et inégalités : implications pour la politique économique "](#)

²⁴³ Bruckner et al., 2022. "Impacts of poverty alleviation on national and global carbon emissions".

²⁴⁴ Source : [OCDE](#) (2024)

²⁴⁵ Cf. Dorband et al. 2019. ["Poverty and distributional effects of carbon pricing in low- and middle-income countries – A global comparative analysis"](#)



6.1.2 Les ménages sont également hétérogènes dans leur possession de capital brun et leur capacité à réaliser les investissements bas-carbone

La possession d'actifs fortement émetteurs de CO₂ (« capital brun ») constitue un déterminant de l'exposition des ménages à la transition bas-carbone. Il s'agit notamment des logements chauffés avec des énergies fossiles, en particulier les plus mal isolés, qui sont catégorisés comme des « passoires thermiques ».

La transition impliquera une dépréciation de ce capital et nécessitera des investissements dans du capital bas-carbone en remplacement, ce qui peut induire un surcoût d'investissement. Les investissements dans la transition (rénovation d'un logement, acquisition d'une voiture électrique) sont caractérisés par des surcoûts d'investissements, qui peuvent néanmoins être rentabilisés grâce aux moindres dépenses de fonctionnement (cf. Section 6.1.7). Les logements peu efficaces ont en conséquence une décote sur le marché de l'immobilier par rapport aux logements efficaces (« valeur verte », cf. Chapitre 4 du rapport intermédiaire²⁴⁶), qui est amenée à se renforcer du fait de la transition bas-carbone. Bien que les ménages modestes soient davantage représentés parmi les occupants des passoires thermiques, ce sont les ménages aisés qui en sont majoritairement propriétaires (cf. Graphique 3). Les ménages détenteurs de passoires thermiques devront réaliser les investissements dans la rénovation, qui se traduiront par une augmentation de la valeur de leur bien à la revente, et pourraient en théorie être associés à une hausse de loyer dans le cas de propriétaires-bailleurs. Dans le secteur du transport, l'effort induit par la transition bas-carbone sera plus important pour les ménages ruraux, qui sont plus motorisés. De plus, les ménages modestes possèdent des voitures plus anciennes que les ménages aisés, donc moins efficaces, ce qui les expose davantage à des hausses de prix du carbone ou un durcissement des réglementations. L'acquisition d'une voiture électrique neuve représenterait un surcoût important pour ces ménages, qui achètent principalement d'occasion²⁴⁷ (30 k€ pour

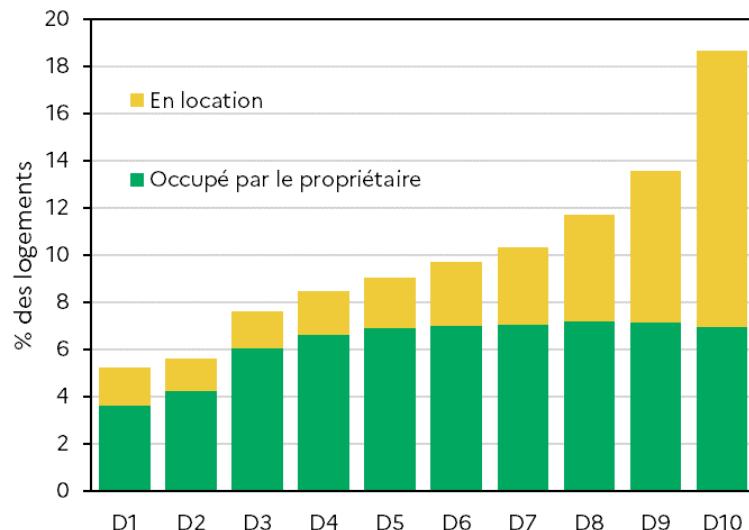
²⁴⁶ DG Trésor (2023), « [Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone](#) », rapport intermédiaire.

²⁴⁷ Seuls 27,5 % des ménages du D1-D5 achètent des véhicules de moins de 5 ans, contre 66 % des ménages du D10. Source : [CGDD, 2022](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

une voiture électrique neuve contre environ 10 k€ pour une voiture thermique d'occasion). Le développement d'un marché d'occasion pour les véhicules électriques est un enjeu important de l'accessibilité de la transition pour les ménages (cf. Chapitre 10)

GRAPHIQUE 3
Distribution de la possession de passoire thermique par décile de revenu



Source : ONRE 2018 ; calculs DG Trésor. Champ : Résidences principales, hors parc social. Les passoires thermiques correspondent aux logements notés DPE F et G selon la méthode de calcul pré-réforme de juillet 2021, basé uniquement sur la dimension énergétique.

Lecture : 18,5 % des passoires thermiques sont détenues par les ménages du 10e décile (aux revenus les plus élevés) ; environ un tiers de ces passoires sont des résidences principales occupées par leur propriétaire tandis que deux tiers d'entre elles sont mises en location.

Face à ces besoins d'investissements, les ménages ont des capacités de financement inégales, qui dépendent notamment de leur revenu, de leur épargne et de leur patrimoine. Une étude de France Stratégie²⁴⁸ estime que le prix d'une voiture électrique neuve sans aide²⁴⁹ est supérieur à l'épargne immédiatement mobilisable – définie comme la somme des comptes courants et des livrets – jusqu'au neuvième décile inclus et, en dessous du quatrième décile, il représente plus de dix fois l'épargne mobilisable.

Au-delà du logement et du transport, la baisse des revenus du capital brun pourrait toucher davantage les ménages les plus aisés, qui possèdent davantage de capital et tirent une plus grande partie de leurs revenus de cette source. La possession d'actifs financiers bruns pourrait être concentrée chez des ménages plus aisés, comme l'est la possession de l'ensemble des actifs financiers²⁵⁰, bien qu'il n'existe pas de données détaillées.

La transition bas-carbone aura également un effet sur le revenu du travail des ménages, avec un impact et des effets incertains. Les ménages peuvent être touchés de manière directe, parce qu'ils travaillent dans un secteur brun, qui est amené à se transformer du fait de la transition. Ils peuvent également l'être de manière indirecte, par exemple si un choc de prix du carbone se traduit par une baisse d'activité dans les autres secteurs, entraînant une moindre demande dans le secteur dans lequel le ménage travaille²⁵¹ (cf. Chapitre 2). Les effets de la transition bas-carbone sur le marché du travail sont complexes, et dépendront des politiques mises en œuvre (cf. Chapitre 7).

²⁴⁸ France Stratégie (2024) « [Investissements bas carbone : comment les rendre rentables ?](#) » et France Stratégie (2024), « [Le soutien au développement des véhicules électriques est-il adapté ?](#) ».

²⁴⁹ France Stratégie retient un prix de 39 000 €₂₀₂₃.

²⁵⁰ Les 10 % des ménages les mieux dotés détenaient 64 % du patrimoine financier en 2021. Sources : [Début 2021, 92 % des avoirs patrimoniaux sont détenus par la moitié des ménages - Insee Focus - 287](#).

²⁵¹ Kängig (2023) « [The unequal economic consequences of carbon pricing](#) ».

6.2 Les effets de la transition bas-carbone sur les ménages dépendent des politiques climatiques et d'accompagnement qui sont mises en place

6.2.1 L'accompagnement des ménages doit être apprécié dans son ensemble, et en distinguant court et long terme

Il existe différents instruments de politiques climatiques (notamment tarification carbone, subventions à des biens bas-carbone, réglementations), dont il importe d'analyser les enjeux distributifs respectifs et les modalités d'accompagnement possibles.

L'accompagnement des ménages dans la transition doit être apprécié dans son ensemble : au-delà des mesures d'accompagnement directes (e.g. subvention pour la rénovation thermique comme MaPrimeRenov' ou le bonus automobile), l'accompagnement peut être indirect, et passer par des changements dans le système socio-fiscal (ajustements dans la fiscalité ou les prestations sociales).

L'évaluation doit distinguer l'impact à court terme d'une politique, qui peut entraîner un surcoût pour les ménages contraints par leur situation actuelle, comme leur voiture ou leur équipement de chauffage, **de l'impact à plus long terme**, dans la mesure où les ménages peuvent réaliser des investissements (e.g. entreprendre des travaux de rénovation ou acheter une voiture moins polluante) ou des choix de localisation, permettant de réduire leur vulnérabilité à une politique comme la tarification carbone. La lisibilité et la prévisibilité des politiques publiques est essentielle pour permettre aux ménages d'intégrer les enjeux de transition bas-carbone dans leurs décisions d'investissement.

6.2.2 La tarification du carbone a des effets distributifs qu'il est possible de maîtriser grâce à l'utilisation des recettes

L'impact de la tarification carbone sur les ménages est plus important, en proportion des revenus, pour les ménages modestes. Bien que les plus aisés contribuent davantage, en absolu, à la fiscalité actuelle pesant sur les énergies carbonées, celle-ci représente un poids plus important pour les ménages modestes. En 2022, la composante carbone de la fiscalité sur les combustibles et carburants représente 0,6 % du revenu total des ménages du 1^{er} quintile, contre 0,2 % pour un ménage du 5^{ème} quintile²⁵². La fiscalité carbone pèserait plus lourdement sur les ménages ruraux, qui parcourent davantage de kilomètres : les ménages vivant dans les communes-centres des pôles s'acquittent en moyenne d'un montant de fiscalité carbone deux fois plus faible que ceux vivant dans les communes des couronnes²⁵³. Dans le logement, un renforcement de la tarification carbone sans accompagnement peut renforcer le phénomène de précarité énergétique.

Les recettes nettes tirées de la tarification carbone peuvent être en partie utilisées pour financer des dispositifs d'accompagnement pour les ménages modestes, comme un « dividende climat » ou des changements dans le système socio-fiscal. Bien que ça ne soit pas son objectif premier, la tarification carbone génère des revenus qui peuvent être utilisés pour financer des dispositifs d'accompagnement pour les ménages. La littérature académique, et les travaux du Conseil des Prélèvements Obligatoires montrent qu'il est possible de redistribuer les recettes de la tarification du carbone de façon à améliorer la situation des ménages, en particulier des plus modestes²⁵⁴. À l'instar du Canada, plusieurs pays ont mis en place un « dividende climat », en redistribuant tout ou partie des recettes de taxe carbone aux ménages. Le Canada, la Suisse,

²⁵² CGDD, modèle Prometheus, cf. « [Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#) » (2024), p 234.

²⁵³ CGDD, modèle Prometheus, cf. « [Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#) » (2024), p 235.

²⁵⁴ Conseil des Prélèvements Obligatoires, « La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique », 2019 sur la base du modèle Prometheus du MTECT/CGDD ; Douenne (2020) « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes : a case study of a French Policy », Energy Journal

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

l'Autriche ont des dispositifs de dividende climat. L'Allemagne est en train de mettre en œuvre cette mesure sous l'appellation « Klimageld ». Il subsiste néanmoins au sein d'un même décile d'importantes hétérogénéités selon la situation des ménages face à la fiscalité carbone (énergie de chauffage dans le logement, distance entre le lieu de travail et le lieu d'habitation). Par exemple, l'élasticité-prix de la consommation de carburant est trois fois plus forte pour les « petits rouleurs » que pour les « gros rouleurs »²⁵⁵, qui ajustent leurs autres postes de consommation²⁵⁶. Les recettes de tarification carbone peuvent également être utilisées pour financer des baisses de prélèvements obligatoires distorsifs sur le travail, ce qui aurait un impact macroéconomique favorable (cf. Chapitre 2). Les effets distributifs de cette option dépendraient de son ciblage.

L'utilisation des recettes de tarification carbone pour l'accompagnement des ménages touchés, ou pour des dépenses vertes permet d'améliorer l'acceptabilité de la politique. Les études sur l'acceptabilité de la fiscalité carbone suggèrent que l'utilisation des recettes pour l'accompagnement des ménages les plus touchés (ménages modestes ou ruraux) ou pour des dépenses vertes (politiques environnementales, infrastructures de transport bas-carbone) sont des options qui sont perçues de manière plus favorable par les Français (cf. Encadré 3).

La tarification carbone sur le transport aérien se distingue par son caractère progressif, car les voyages en avion sont assez concentrés parmi les ménages aisés. Les ménages du 4^{ème} quartile parcourront quatre fois plus de km par avion que le 1^{er} quartile pour les déplacements à l'étranger en 2019. Pour autant, les mobilités longue distance sont en forte hausse pour l'ensemble des catégories de revenu (entre +76 % et +92 % selon les quartiles entre 2008 et 2019), essentiellement portées par le transport aérien²⁵⁷. Le caractère progressif est accentué dans le cas du tarif de solidarité sur les billets d'avion, qui est nettement plus élevé en classe affaires qu'en économique.

²⁵⁵ Insee (2023) « [Comment les automobilistes ajustent leur consommation de carburant aux variations de prix à court terme](#) »

²⁵⁶ Focus du CAE (2022), « [La situation financière des ménages en début de crise énergétique](#) »

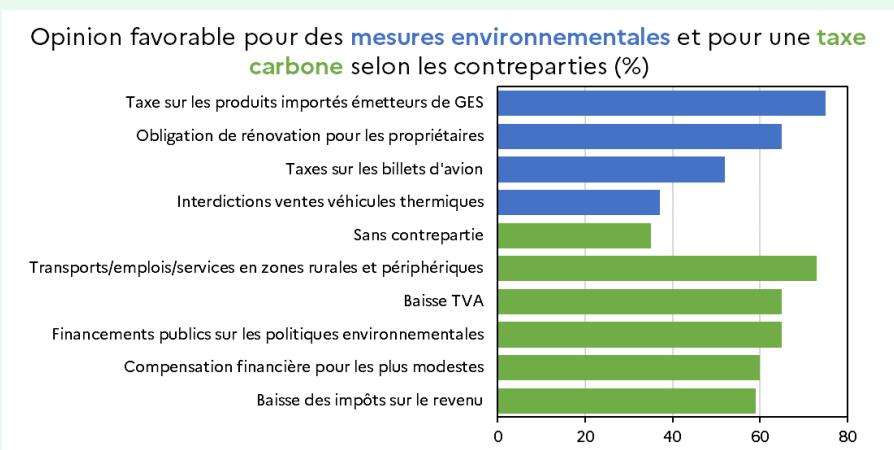
²⁵⁷ Autorité de Régulation des Transports (2022), « [Le transport de voyageurs en France](#) » Figure 23.

ENCADRÉ 3

L'acceptabilité des politiques climatiques

La taxe carbone soulève des enjeux d'acceptabilité, mais il est possible de l'améliorer si elle s'accompagne de contreparties (cf. Graphique 4). La communication sur l'efficacité climatique des mesures, sur l'utilisation des recettes (comme y contribue le Budget Vert), et sur des co-bénéfices des politiques de transition (qualité de l'air, santé) est essentielle²⁵⁸.

GRAPHIQUE 4
Acceptabilité des politiques climatiques



Source : Enquêtes de la DREES sur [l'acceptabilité de la taxe carbone et d'autres mesures environnementales](#).

6.2.3 La France a mis en place des subventions, de plus en plus ciblées, pour accompagner les ménages

Les subventions aux ménages pour des gestes de décarbonation sont souvent conditionnées au revenu ou renforcées pour les plus modestes. Les montants des aides sont croissants depuis 2008, et l'augmentation a été plus importante pour les ménages modestes et les classes moyennes²⁵⁹. Le ciblage des aides vers les plus modestes permet, en plus d'améliorer la rentabilité des investissements, de pallier des contraintes de liquidité ou des contraintes de crédit, plus importantes pour ces ménages.

Plusieurs dispositifs ciblés ont été mis en œuvre en France afin d'alléger le coût de la transition pour les ménages aux revenus modestes (cf. Graphique 5) :

- Les subventions à la rénovation énergétique des logements MaPrimeRénov' sont plus généreuses pour les ménages modestes, elles bénéficient en majorité à des ménages moyens et modestes²⁶⁰. Au premier semestre 2024, 45 % des gestes subventionnés ont été effectués par les ménages du D1-D3, qui ne représentent que 8 % des propriétaires.
- Le barème du bonus écologique automobile est majoré pour les plus modestes et le leasing électrique permet d'accompagner les gros rouleurs parmi les 50 % des ménages les plus modestes. Dans l'ensemble, la part des ménages de cette tranche de revenu parmi

²⁵⁸ Dechezleprétre et al. 2022, « [Les Français et les politiques climatiques](#) », Note du CAE.

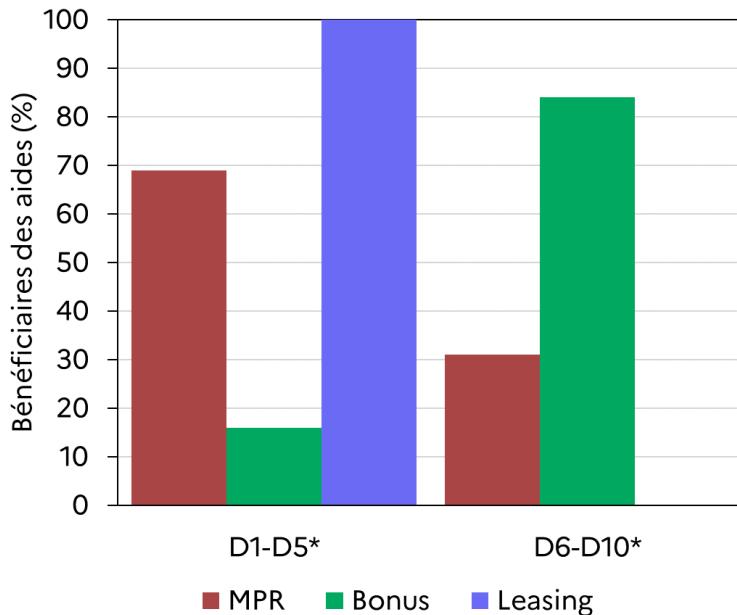
²⁵⁹ [I4CE \(2023\) "La transition est-elle accessible à tous les ménages?"](#)

²⁶⁰ ANAH, Premier semestre 2023.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

les bénéficiaires de ces dispositifs a augmenté, et atteindrait 35 % en 2024²⁶¹. Par ailleurs, le malus CO₂ sur les véhicules neufs concerne plutôt les déciles élevés.

GRAPHIQUE 5
Distribution des bénéficiaires des aides selon le revenu.



Sources : (i) Bonus: ASP 2024. (ii) MPR : ANAH, [Premier semestre 2024](#).

Note : Les catégories de revenu de l'ANAH utilisés dans MPR n'étant pas définies selon les déciles, la correspondance suivante est retenue : les profils Très Modestes et Modestes sont regroupés dans le D1-D5*, les Intermédiaires et Supérieurs dans D6-D10*.

Les instruments de prêt (par exemple éco-Prêt à Taux Zéro) visent également à répondre aux contraintes de financement des ménages. Ainsi, 100 000 Eco-PTZ ont été distribués en 2023²⁶², un chiffre en augmentation constante depuis 2019.

²⁶¹ Source : DGEC-ASP, période : 1^{er} janvier – 20 octobre 2024. En 2023, les 50 % les plus modestes représentaient entre 15 et 20 % des bénéficiaires du bonus d'après [France Stratégie](#).

²⁶² SGFGAS (2024) « [Bilan statistique des Eco-PTZ émis en 2023](#) ».

ENCADRÉ 4

Effet des aides 2024 sur le coût des investissements de décarbonation

Les aides en place en 2024 permettent de réduire le surcoût pour les ménages de l'achat d'une voiture électrique et l'installation d'une pompe à chaleur (avec ou sans travaux d'isolation, cf. Graphique 6), par rapport à leur équivalent fossile (voiture thermique, chaudière au fioul ou au gaz). *Plusieurs cas-types sont construits, et décrits en annexe.*

- Sans aides, le coût à l'achat d'une pompe à chaleur ou d'une voiture électrique dépasse actuellement celui de l'équivalent fossile, d'un facteur 2 à 3 pour le chauffage, et environ 1,5 pour une voiture électrique neuve. Le développement d'une offre de voitures électriques neuves plus accessibles à l'avenir diminuerait ce surcoût. Les travaux d'isolation entraînent également un coût d'investissement important²⁶³.
- Les aides dans le logement²⁶⁴ permettent de fortement limiter le surcoût, en particulier pour les ménages modestes, qui reçoivent plus de subventions. À titre illustratif, pour un ménage du 5^{ème} décile de revenu (D5), propriétaire d'une passoire thermique de 90 m² chauffée au gaz, installant une pompe à chaleur et réalisant des travaux d'isolation visant à atteindre le DPE D, les aides (y compris taux réduit de TVA) permettent de couvrir 75 % du surcoût total (environ 60 000 €). Pour un ménage du D1-D4 dans un logement similaire, les aides couvrent environ 90 % du surcoût.
- Pour la mobilité, les subventions²⁶⁵ sont également plus importantes pour l'achat d'une voiture neuve pour les ménages modestes. Toutefois, ceux-ci achètent principalement des voitures d'occasion²⁶⁶, dont le coût d'achat est moins important, et pour lesquels il est possible de bénéficier de la prime à la conversion. Par effet en cascade, les subventions sur le neuf permettent en théorie également de réduire le prix des voitures d'occasion.
- Pour un ménage intermédiaire (D6-D7) investissant dans la rénovation d'ampleur d'un logement de 90 m² et achetant une voiture électrique neuve, l'investissement net après aides s'élèverait à 30 k€, représentant 85 % de son revenu annuel disponible.

²⁶³ Les coûts des travaux de rénovation sont incertains : ceux issus des données MPRS sont 2 fois supérieurs à ceux utilisés par le modèle ResIRF, dans la version utilisée par la commission sur les coûts d'abattement présidée par P. Criqui, c.f. [rapport intermédiaire](#).

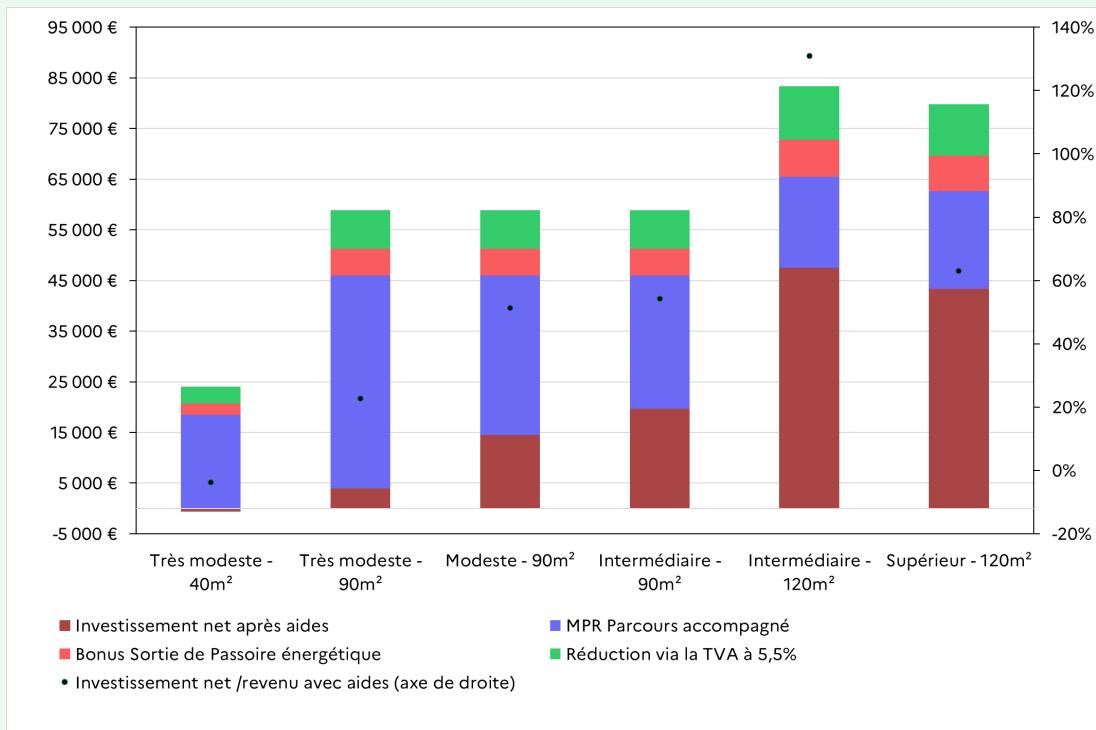
²⁶⁴ Principalement MPR, CEE et taux de TVA réduit.

²⁶⁵ Bonus automobile, prime à la conversion, leasing.

²⁶⁶ Seuls 27,5 % des ménages du D1-D5 achètent des véhicules de moins de 5 ans, contre 66 % des ménages du D10. Source : [CGDD, 2022](#)

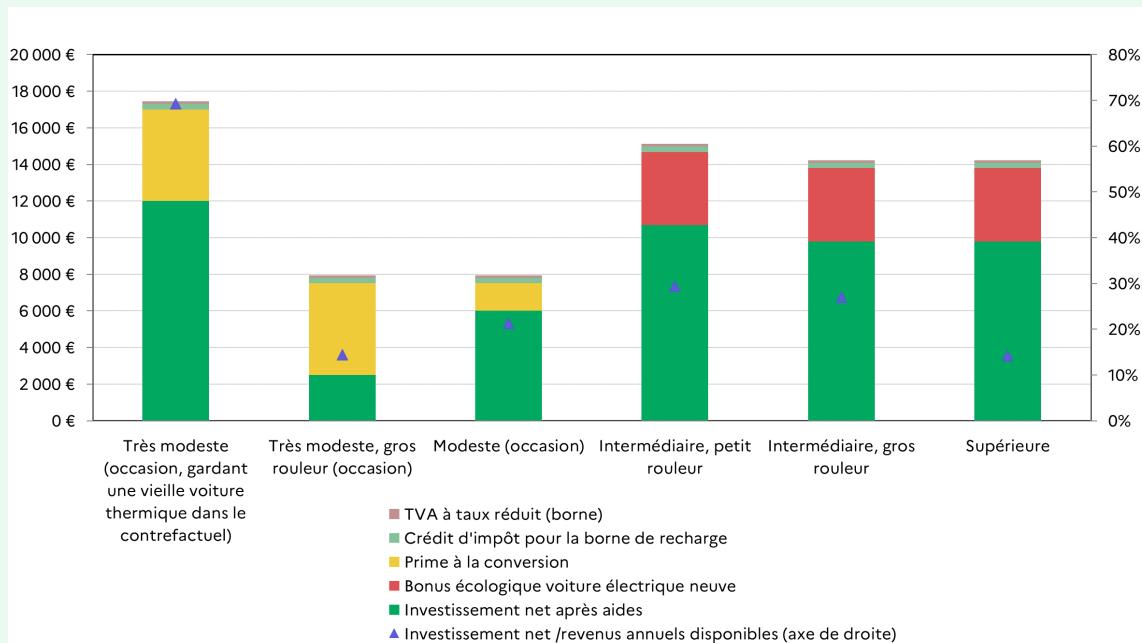
GRAPHIQUE 6
Surcoût à l'achat des gestes de décarbonation, et rôle des aides (barème 2024),
pour 6 cas-types de ménages

(a) Rénovation d'ampleur (PAC + isolation)



Note : les cas-types sont décrits en annexe.

(b) Voiture électrique



Note : les cas-types sont décrits en annexe. Les profils très modestes achètent des voitures d'occasion. Le premier profil très modeste est supposé garder une vieille voiture thermique dans le contrefactuel. Les aides sont calculées sur la base du barème 2024.

6.2.4 Les normes ont des effets distributifs complexes, qu'il faut analyser au cas par cas

Des mesures réglementaires, ciblant par exemple l'efficacité énergétique des véhicules ou le type d'énergie de chauffage, ont également un effet distributif qu'il convient d'appréhender. De plus, elles sont neutres au premier ordre en recettes publiques.

Les effets des interdictions/obligations portant sur le capital déjà installé dépendent de la distribution de la détention du « capital brun » :

- La part de ménages chauffés au fioul ne varie pas avec le revenu, mais cette part est plus importante pour les ménages ruraux²⁶⁷.
- Les zones à faibles émissions (ZFE), qui relèvent avant tout de la lutte contre la pollution locale de l'air²⁶⁸, vont principalement pénaliser les ménages modestes, dont les véhicules sont plus anciens²⁶⁹. Ces ménages pourraient néanmoins, dans certains territoires, bénéficier davantage de l'amélioration de la qualité de l'air permise par les ZFE, étant plus exposés à la pollution de l'air²⁷⁰.
- L'obligation de rénovation des logements peu efficaces énergétiquement en location, qui vise à rénover le parc locatif et lutter contre la précarité énergétique, a des effets distributifs complexes et qui n'ont pas été évalués. Le coût direct touche davantage les propriétaires de logements visés par l'obligation, mais les locataires, plus modestes, sont concernés indirectement. Le gain financier permis par les économies d'énergie peut être amoindri par une possible hausse des loyers, mais la rénovation s'accompagne également d'un gain de confort voire d'une baisse de la précarité énergétique. L'ensemble des effets distributifs est difficile à anticiper car les coûts sont imparfaitement transmis aux locataires (rigidité des loyers, asymétrie d'information), et les gains financiers et de confort dépendent des comportements post-rénovation.

6.2.5 Dans l'ensemble, les politiques en place en 2024 permettent d'améliorer la rentabilité privée des investissements et de les rendre rentables dans de nombreuses situations

Bien que les investissements dans la rénovation thermique et l'acquisition d'un véhicule électrique présentent un surcoût, ils génèrent également des économies en fonctionnement dont il faut tenir compte. La préférence des ménages (en particulier modestes) pour le présent nécessite des économies substantielles pour rendre les investissements attractifs²⁷¹.

Les investissements dans des solutions électriques génèrent des économies en fonctionnement :

- Le rendement énergétique des pompes à chaleur et des véhicules électriques est environ 3 fois supérieur aux équivalents fossiles. Toutefois, en raison du ratio entre le prix de l'électricité et du gaz (2,3 en 2024), et en tenant compte de l'effet rebond²⁷², la baisse sur la facture peut être limitée à 20 % pour le passage d'une chaudière fossile à une pompe à chaleur avec les prix de 2024, et 30 % avec la baisse attendue du prix de l'électricité sur les

²⁶⁷ Pottier et al. (2020) « Qui émet du CO2 ? Panorama critique des inégalités écologiques en France », Revue de l'OFCE.

²⁶⁸ La classification Crit'Air s'appuie sur les émissions de polluants atmosphériques et pas sur les émissions de gaz à effet serre.

²⁶⁹ Seuls 27,5 % des ménages du D1-D5 achètent des véhicules de moins de 5 ans, contre 66 % des ménages du D10. Source : CGDD, 2022. L'exemple des ZFE montre ainsi que les réglementations environnementales en général peuvent avoir des effets régressifs.

²⁷⁰ Cf. par exemple INSEE (2023) « [Exposition à la pollution de l'air](#) » sur le cas de la Région PACA.

²⁷¹ Stolyarova (2016) estime des taux d'actualisation implicites des ménages pour la rénovation compris autour de 8 %, allant jusqu'à 13 % pour des faibles revenus. Pour la mobilité, le taux d'actualisation pour la mobilité est estimé autour de 7 %, avec de fortes incertitudes ([Grigolon et al. 2018](#)). Un taux de 7 % est retenu pour l'analyse présentée dans ce mémo.

²⁷² L'effet rebond désigne le fait que la baisse de consommation d'énergie suite à l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un logement puisse être moindre qu'attendu, par exemple dans le cas de la sortie d'une situation de précarité énergétique. Cette amélioration du confort n'est pas intégrée dans le calcul de la rentabilité des investissements.

trois prochaines années. Les travaux d'isolation associés à un changement de vecteur énergétique permettent de porter la baisse de facture énergétique à 40-50 %. En cas d'impossibilité d'installer une PAC, l'installation d'un chauffage électrique direct augmenterait la facture de 40 % par rapport à une chaudière fossile.

- Le passage d'une voiture thermique à une voiture électrique permet de baisser les dépenses de fonctionnement annuelles²⁷³ de 20 % pour un petit rouleur, et de 40 à 50 % pour un rouleur moyen ou gros rouleur²⁷⁴.

Avec les aides distribuées en 2024, et sur la base des cas-types définis en Annexe, les économies générées par les pompes à chaleur dépassent le surcoût d'investissement pour les ménages en moins de dix ans, mais les travaux d'isolation seraient peu rentables (cf. Tableau 1). Sans aides, une pompe à chaleur n'apparaît rentable par rapport à un chauffage fossile que pour des ménages aisés, pour lesquels l'effet rebond serait moindre. Les aides permettent de rentabiliser une pompe à chaleur en 2 ans pour des ménages du D1-D4, qui bénéficient d'aides plus généreuses, et en 10 ans pour des ménages du D8-D10. Toutefois, l'investissement n'est pas rentable du point de vue privé s'il est associé à des travaux d'isolation, sauf pour des ménages très modestes qui bénéficient de subventions plus importantes. Dans ce cas, même avec un éco-prêt à taux zéro, les annuités de prêt restent souvent supérieures aux économies d'énergie. Les travaux de rénovation pourraient néanmoins être rentabilisés à la revente via l'augmentation de la « valeur verte » du logement (cf. Chapitre 4 du rapport intermédiaire²⁷⁵), en particulier pour les maisons pour lesquelles cette valeur verte est en moyenne supérieure aux coûts des travaux.

D'après les hypothèses retenues ici, la rentabilité privée du véhicule électrique est déjà acquise pour des ménages « gros rouleurs », même sans aides, tandis que les horizons de rentabilité peuvent être élevés dans les autres situations (cf. Tableau 2). L'investissement est rentable sans aides pour des profils « gros rouleurs »²⁷⁶. Les aides 2024 rendent l'investissement rentable en une dizaine d'années dans de nombreuses situations, même en comparant l'achat d'une voiture électrique d'occasion avec la conservation d'un vieux véhicule thermique pour un ménage très modeste. Les horizons de rentabilité restent néanmoins supérieurs à la durée de prêt sur laquelle les ménages empruntent généralement pour l'achat d'un véhicule (5 ans), et nécessitent des durées de possession élevées pour des véhicules d'occasion. En revanche, l'investissement n'est pas rentable pour des petits rouleurs, mais les émissions évitées sont plus faibles.

La tarification du carbone contribue à la rentabilité des gestes de décarbonation. Sur la base des cas-types retenus pour ce chapitre, une augmentation de 60 €/tCO₂ permettrait de générer des économies actualisées sur 15 ans comprises entre 500 et 2000 € pour le passage au véhicule électrique (d'autant plus importantes qu'un ménage roule beaucoup), et de 800 à 4000 € dans le cas d'un passage à une PAC. Dans les deux cas, cela réduirait l'horizon de rentabilité de 1 à 3 ans.

Ces calculs de rentabilité sont illustratifs. Ils reposent sur de nombreuses hypothèses (cf. Annexe), dont certains paramètres sont particulièrement incertains, et peuvent évoluer rapidement. Par exemple, le développement d'une offre de voitures électriques neuves plus performantes et plus accessibles améliorerait considérablement les temps de retour sur ces investissements. L'évolution des prix de l'énergie est soumise à de fortes incertitudes et dépendra également des politiques publiques en place.

²⁷³ Facture énergétique, dépenses d'entretien et d'assurance.

²⁷⁴ Petit rouleur : 5 000 km / rouleur moyen : 13 000 km / gros rouleur : 17 500 km. Cf. le détail des hypothèses en Annexe.

²⁷⁵ DG Trésor (2023), « [Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone](#) », rapport intermédiaire.

²⁷⁶ Parmi les ménages, les profils « gros rouleurs » sont supposés rouler 17 500 km par an, ce qui correspond à 20 % des véhicules

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

TABLEAU 1
Temps de retour sur investissement de la rénovation énergétique des logements

Type de ménage	Très modeste (D1-D4)	Très modeste (D1-D4)	Modeste (D5)	Intermédiaire (D6-D7)	Intermédiaire (D6-D7)	Supérieur (D8-D9-D10)
Surface	40 m ²	90 m ²	90 m ²	90 m ²	120m ²	120m ²
Chauffage initial	Gaz	Gaz	Gaz	Fioul	Gaz	Gaz
Chauffage après rénovation	Électrique Joule	PAC	PAC	PAC	PAC	PAC
<u>Rentabilité</u> changement de vecteur énergétique avec aides 2024 (sans aides) (avec un renforcement de la tarification carbone, tel que l'ETS 2*)	> 15 ans (> 15 ans) (> 15 ans)	2 ans (> 15 ans) (1 an)	8 ans (> 15 ans) (5 ans)	9 ans (> 15 ans) (6 ans)	9 ans (> 15 ans) (5 ans)	10 ans (> 15 ans) (6 ans)
<u>Rentabilité</u> PAC + isolation avec aides 2024 (sans aides) (avec un renforcement de la tarification carbone, tel que l'ETS 2*)	> 15 ans (> 15 ans) (> 15 ans)	4 ans (> 15 ans) (3 ans)	> 15 ans (> 15 ans) (> 15 ans)			

Source : calculs DG Trésor. * Hypothèse d'une augmentation à hauteur de 60 €/tCO₂, comme hypothèse de signal prix de l'ETS 2.

TABLEAU 2
Temps de retour sur investissement de l'achat d'un véhicule électrique

Type de ménage	Très modeste (D1-D4)	Très modeste (D1-D4)	Modeste (D5)	Intermédiaire (D6-D7)	Intermédiaire (D6-D7)	Supérieur (D8-D9-D10)
Comportement utilisateur	Rouleur moyen	Gros rouleur	Rouleur moyen	Petit rouleur	Gros rouleur	Rouleur moyen
Économies de CO ₂ sur un an	2,5 tCO ₂	2,7 tCO ₂	2 tCO ₂	0,7 tCO ₂	3 tCO ₂	2,2 tCO ₂
Contrefactuel	Garder une vieille citadine	VT occasion	VT occasion	VT neuf	VT neuf	VT neuf
Investissement bas carbone	VE occasion	VE occasion	VE occasion	VE neuf	VE neuf	VE neuf
<u>Rentabilité</u> avec aides 2024 (sans aides) (avec renforcement de la tarification carbone, tel que l'ETS 2*)	9 ans (15 ans) (8 ans)	Immédiate (5 ans) (Immédiate)	> 15 ans (> 15 ans) (15 ans)	> 15 ans (> 15 ans) (> 15 ans)	8 ans (13 ans) (7 ans)	12 ans (> 15 ans) (10 ans)

Source : calculs DG Trésor. * Hypothèse d'une augmentation à hauteur de 60 €/tCO₂, comme hypothèse de signal prix de l'ETS 2.

7 La transition vers la neutralité carbone aura d'importantes répercussions sur les emplois et les compétences

Messages-clés

Au niveau macroéconomique, la transition vers la neutralité carbone donnera lieu à des réallocations d'emplois, d'ampleur encore incertaine.

- L'effet net agrégé de la transition écologique sur l'emploi ne fait pas consensus dans la littérature économique : il peut être positif ou négatif selon les modèles ou les types de politiques environnementales. Cependant, la plupart des estimations disponibles estime que l'effet agrégé serait d'ampleur limitée.
- Les effets sur l'emploi dépendront des instruments de politique publique mobilisés, ainsi que de l'utilisation qui sera faite des recettes de tarification carbone.
- La transformation structurelle de l'économie donnera lieu à des réallocations d'emplois, avec moins d'emplois bruns et davantage d'emplois verts. L'ampleur des réallocations est cependant très incertaine et ne fait pas encore consensus.

Identifier les emplois concernés par la transition, soit y contribuant (verts), soit émissifs (bruns), nécessite de combiner une approche par activité de l'entreprise et par profession. Il est proposé ici une analyse des classifications existantes et une quantification illustrative à partir de ces dernières.

L'attractivité des emplois verts, qui représenteraient 12 % de l'emploi en 2021, est une condition de la réussite de la transition.

- Les emplois verts favorisent l'environnement et contribuent à accélérer la transition, à la fois dans les activités vertes et dans toute l'économie.
- Les politiques climatiques sont un moteur important des créations d'emplois verts. Environ 300 000 emplois verts ont été créés entre 2016 et 2021, à un rythme 2 fois supérieur à l'ensemble des créations d'emplois dans l'économie. En 2022, les entreprises indiquaient que 66 % des projets de recrutement au sein des professions vertes se heurtaient à des tensions.
- L'attractivité des emplois verts est essentielle pour que la création et le recrutement d'emplois verts s'accélèrent. Actuellement, la faible attractivité de certains emplois verts pourrait s'expliquer par la trop faible rétribution financière de facteurs de pénibilité du travail ou du besoin, à profession égale, de compétences plus poussées. Ainsi, si différents pays dont la France présentaient une prime salariale verte importante (i.e. des salaires plus élevés dans les activités vertes, toutes choses égales par ailleurs) au début des années 2010, celle-ci semble en nette diminution depuis.

Les activités exposées à la transition, car liées à des biens et services dont la production ou l'usage est très émissif, représentaient 8 % de l'emploi salarié en 2021, et les emplois les plus fortement exposés seulement 3 % de l'emploi salarié, mais ces derniers sont parfois concentrés géographiquement.

- Les activités exposées à la transition devront fortement évoluer pour réduire leur empreinte environnementale, et peuvent être soumises au risque d'une diminution de leur activité. Dans les deux cas, les emplois seront sujets à des réallocations inter- et intra-sectorielles.
- Seuls 3 % de l'emploi salarié, soit environ 900 000 personnes, occuperont une profession particulièrement spécifique aux activités émissives. Dans certaines zones d'emploi, quelques activités émissives représentent néanmoins une part importante de l'économie locale.
- Il importe d'anticiper ces réallocations, qui pourront nécessiter des reconversions, un accompagnement spécifique, voire une diversification économique au niveau local.
- Les frictions sur le marché du travail sont susceptibles de freiner la transition et d'en accroître les coûts socio-économiques.

7.1 La transition aurait un effet net faible sur l'emploi, et donnerait lieu à des réallocations d'une ampleur encore incertaine

Au niveau macroéconomique, la transition vers la neutralité carbone aurait un effet agrégé net faible sur l'emploi, mais donnera lieu à des réallocations d'emplois, à la fois entre activités, entre entreprises au sein d'un secteur et même au sein des entreprises.

La transition vers la neutralité carbone implique une transformation structurelle de l'économie et des emplois (cf. Chapitre 2). Les emplois seront réalloués depuis les activités fortement émettrices vers des activités neutres ou contribuant à la transition. Au sein d'un même secteur, certaines activités de production de biens et services émissifs (e.g. les voitures thermiques) évolueront vers des activités de production de biens et services moins émissifs (e.g. les voitures électriques), ce qui pourrait changer le volume et la composition de la main-d'œuvre du secteur.

L'effet net agrégé de la transition vers la neutralité carbone serait limité, notamment par rapport à d'autres transitions récentes. Le sens des effets sur l'emploi ne fait pas consensus dans la littérature économique : il peut être positif ou négatif selon les modèles ou les types de politiques environnementales. Cependant, la plupart des estimations disponibles estime que l'effet agrégé serait d'ampleur limitée (cf. Encadré 1), en particulier en comparaison à d'autres transitions récentes. En simulant l'effet de l'introduction d'une taxe carbone de 100 €/tCO₂ à horizon 2030, le CAE estime ainsi le nombre de destructions d'emplois à horizon 2030 à 167 000 (0,6 % de l'emploi) dans son scénario le plus défavorable ne comprenant pas de recyclage des recettes²⁷⁷. Cet effet agrégé dans le scénario le plus pessimiste du CAE est inférieur aux destructions d'emplois induites par la concurrence commerciale de la Chine, estimées à 280 000 dans l'ensemble de l'économie française (90 000 dans l'industrie manufacturière et 190 000 dans le reste de l'économie), sur la période 2001-2007²⁷⁸. Cela s'explique notamment par le caractère limité du nombre d'emplois directement affectés par les politiques climatiques et par la relativement faible hausse de taxe carbone simulée. Ces premières estimations ne permettent pas directement de conclure quant aux effets sur l'emploi à horizon 2030 et 2050, l'hypothèse de tarification du carbone retenue ne correspondant pas nécessairement aux politiques qui seront implémentées en pratique.

²⁷⁷ Conseil d'analyse économique (CAE) (2023), « Transition énergétique : faut-il craindre pour l'emploi ? », Note d'analyse n°80.

²⁷⁸ Malgouyres C. (2017), « The impact of Chinese import competition on the local structure of employment and wages: Evidence from France », Journal of Regional Science

ENCADRÉ 1

Revue de littérature des modélisations macroéconomiques récentes des effets de la transition sur l'emploi

Plusieurs publications récentes tentent d'estimer l'effet net de la transition vers la neutralité carbone sur l'emploi. Elles ont usuellement recours à des modèles macroéconomiques bouclés, et plus rarement à des estimations sectorielles (e.g., la stratégie emploi-compétences du Secrétariat Général à la Planification Écologique – SGPE – publiée en juin 2024). La plupart des études concluent que, tandis qu'un renchérissement du carbone détruirait des emplois, le recyclage des recettes associées ferait plus que compenser ces destructions, aboutissant à un effet net positif sur l'emploi (e.g. CAE 2023, « Transition énergétique, faut-il craindre pour l'emploi ? »). À ce premier canal s'ajoutent les importants investissements de décarbonation, qui ont pour effet de premier tour la création de nombreux emplois. Le financement de ces investissements publics et privés, qui pourrait entraîner la diminution d'autres dépenses et investissements par ailleurs, atténuerait fortement les effets positifs (cf. Chapitre 2).

TABLEAU 1
Exemples d'estimations récentes, pour la France

SOURCE & MODÈLE(S)	SCÉNARIO(S) MODÉLISÉ(S)	HORIZON	IMPACT SUR L'ACTIVITÉ EN 2030 (en % en écart à un scénario de référence)	IMPACT SUR L'EMPLOI EN 2030 (en milliers d'emplois en écart à un scénario de référence)
<u>SNBC 2 (2020)</u> Modèles : ThreeME, Imaclim	Scénario pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 comparé à un scénario des mesures de transition prises jusqu'en 2018	2030	+0,7 % à +2,5 %	+300 à +500
<u>Ademe, Banque de France, CIRED, Seureco (2023), « Risques de transition : analyse multi-modèles pour la France »</u> Modèles : ThreeME, NiGEM, Imaclim, NEMESIS	Scénario de transition ordonnée par rapport à un contrefactuel sans choc	2030	-1,5 % à 1,5 %	-125 à +400
<u>CAE (2023), « Transition énergétique : faut-il craindre pour l'emploi ? »</u> Modèles : ThreeMe, Baqaae & Farhi	Taxe carbone de 100€/tCO2 supplémentaires, au niveau national uniquement (ThreeMe). Dans le cas d'une taxe européenne ou mondiale (Baqaae-Farhi), les effets sur la production sont plus positifs.	2030, sans redistribution des revenus de la taxe	-0,75 %	-167
	2030, avec redistribution des revenus de la taxe	+0,3 %	+92	
<u>SGPE – Stratégie emploi-compétences (juin 2024)</u> Modèle : modélisation SGPE sur la base des Métiers 2030 (~SNBC 2) et sources sectorielles diverses	Planification écologique prévue par le SGPE	2030	Non spécifié	+200 à +500

Les réallocations d'emplois dans le secteur manufacturier induites par la transition à horizon 2030, pour une bonne part intra-sectorielles, seront nombreuses, mais dans des proportions qui seraient raisonnables selon le CAE, au vu du taux annuel de réallocation de l'emploi en France. En simulant l'effet de l'introduction d'une taxe carbone de 100 €/tCO₂ sans recyclage des recettes à horizon 2030, le CAE estime ainsi l'ampleur des réallocations, définie comme la somme des créations et des destructions rapportées à l'emploi, à 4 % de l'emploi manufacturier total²⁷⁹. Ce taux est à comparer à un taux de réallocation annuel de l'emploi dans le secteur marchand d'un peu plus de 20 % en France sur la période 2010-2020²⁸⁰. Parmi les réallocations au sein de l'industrie induites par des politiques de transition renchérisant l'énergie, la moitié aurait lieu entre entreprises d'un même secteur²⁸¹ (à technologies de production inchangées). En effet, il existe au sein de l'industrie une forte hétérogénéité intra-sectorielle des émissions (cf. Chapitre 8). En conséquence, au sein d'un secteur, certaines entreprises parviendraient mieux que d'autres à absorber le choc en raison de leur mix énergétique ou d'une meilleure efficience énergétique des procédés de production, et acquerraient des parts de marché au détriment des autres.

7.2 Les créations d'emplois verts sont deux fois plus rapides que la moyenne de l'économie

Identifier finement les emplois moteurs ou à risque de la transition bas-carbone nécessite de croiser les approches par activité et profession. La catégorisation retenue ici classe les emplois selon deux critères : (i) les biens et services produits par l'entreprise (activité verte, neutre ou brune, selon son effet direct et indirect sur la transition) et (ii) la profession exercée (cf. Encadré 2). Un emploi peut ainsi consister en des missions individuelles favorables à la décarbonation, au sein d'une activité de production très émissive, comme un ingénieur spécialiste de l'efficacité des procédés de production de l'acier. Croiser ces approches permet d'identifier plus finement les potentielles tensions de recrutement ou les emplois à risque de transition (cf. Tableau 3). La classification proposée est illustrative et pourrait être actualisée avec une nouvelle liste de professions et d'activités de la transition écologique. Selon cette catégorisation, 12,4 % des salariés²⁸² participaient à la transition bas-carbone en 2021 en exerçant soit une profession verte ou verdissante, soit une profession neutre dans une activité verte²⁸³ (cf. Tableau 4). Ces emplois sont déjà en forte augmentation, avec 300 000 créations nettes d'emplois entre 2016 et 2021, une croissance deux fois plus élevée que la moyenne du marché de l'emploi.

²⁷⁹ Cette méthode sous-estime l'ampleur totale des réallocations liées à la transition, puisqu'elle suppose que ces réallocations sont "directes", d'emplois bruns vers des emplois verts. Or la plupart du temps, les travailleurs bruns connaissent des mobilités vers des emplois neutres, et ce sont des travailleurs neutres qui se reconvertisse vers des emplois verts (Bergant K., Mano R. C., Shibata I., « From polluting to green jobs : a seamless transition in the US ? », IMF Working Paper 22/129, International Monetary Fund, Washington, DC, 2022).

²⁸⁰ Bock S. et al. (2023), « Comprendre le tissu productif marchand en France : une analyse de la décennie passée », OFCE Policy brief 119

²⁸¹ Fontaine F. et Marullaz C. (2023), « Choc de l'énergie, prix du carbone et emploi : une analyse sur données individuelles », Focus du CAE

²⁸² Les chiffrages détaillés présentés ici se concentrent uniquement sur les personnes exerçant un emploi salarié pendant une partie de l'année 2021, car la qualité des bases administratives est meilleure sur ce champ. Cependant, les travailleurs exclusivement indépendants, i.e. n'exerçant qu'une activité non salariée en 2021, représentent selon l'Insee (cf. Insee Première n°1961 (2023)) environ 2,8 millions d'emplois, dont 400 000 emplois dans la construction (généralement des professions neutres ou verdissantes), 190 000 emplois dans le transport ou la réparation automobile (majoritairement des professions brunes). Les autres travailleurs exclusivement indépendants (environ 80 % du total) seraient surtout neutres, car dans le commerce, les services aux entreprises, ou encore la santé.

²⁸³ Résultats issus de données administratives, à l'aide de la catégorisation précédente.

ENCADRÉ 2

Les différentes approches pour définir les emplois verts et bruns

Un emploi peut contribuer à la transition écologique, et donc être considéré comme « vert », de différentes manières (cf. Tableau 2).

- Il peut contribuer, quelle que soit sa fonction, au bon fonctionnement d'une entreprise favorable à la transition, soit parce qu'elle produit un bien ou un service lui-même favorable à la transition (Approche 1), soit parce que ses procédés de production sont particulièrement peu polluants relativement aux autres entreprises du secteur (Approche 2).
- Sa fonction peut contribuer à l'amélioration de l'empreinte de son entreprise sur l'environnement (Approche 3). Si la finalité première du poste est environnementale (e.g., un responsable R&D travaillant à réduire les pollutions associées à un procédé industriel), on parle de profession verte. Si l'évolution des tâches et des compétences associées à la fonction permet de mieux tenir compte des enjeux de transition (e.g., un architecte), on parle de profession verdissante.

Réciproquement, le concept d'emploi « brun », c'est-à-dire exposé à un risque de transition²⁸⁴, peut être abordé selon la finalité de l'entreprise employeur (Approche 1), des dommages environnementaux causés par les procédés de production de l'entreprise (Approche 2), ou les tâches et compétences demandées (Approche 3).

Ces trois approches sont complémentaires : aborder les emplois verts et bruns via la finalité de l'entreprise employeur donne un ordre de grandeur des potentielles réallocations intersectorielles, tandis que l'étude des procédés de production informe plutôt sur les réallocations intra sectorielles. Enfin, l'analyse des tâches et compétences demandées permet d'anticiper les besoins en formation continue ou en reconversion professionnelle.

En France, l'Observatoire national des emplois et métiers de l'économie verte (Onemev) exploite deux approches disjointes pour définir les emplois verts. L'Onemev propose ainsi une liste d'éco-activités²⁸⁵ (Approche 1) très restrictive : avec seulement 2,4 % de l'emploi total²⁸⁶, elle exclut partiellement le transport ferroviaire et d'autres alternatives peu carbonées²⁸⁷. En complément, deux listes de professions (Approche 3) sont proposées : les professions vertes, très sélectives (141 000 emplois en 2019²⁸⁸), ont pour objectif principal la réduction des pollutions et la préservation des ressources naturelles ; les professions verdissantes, dont les compétences évoluent pour intégrer la transition écologique, sont au contraire une large catégorie (14 % des emplois en 2019) qui ne permet pas d'isoler les compétences motrices de la transition écologique.

²⁸⁴ Ce risque pouvant se traduire par une diminution ou une transformation des emplois concernés : dans l'automobile, le passage à l'électrique entraînerait une diminution des emplois des filières moteur à nombre de véhicules produits inchangé (cf. CFDT (2021), « Automobile – comment relever le défi d'une transition juste ? »). Au contraire, les activités agricoles aujourd'hui très émissives vont progressivement se tourner vers des pratiques écologiques, sans a priori que la transition ait un effet sur les effectifs.

²⁸⁵ Définies comme les activités économiques dont la production réduit les pollutions et économise les ressources naturelles.

²⁸⁶ SDES (2024), « Les éco-activités et l'emploi environnemental en 2021 ».

²⁸⁷ Celles-ci sont considérées comme des activités dites « périphériques », qui ne sont pas incluses dans toutes les estimations proposées. Cf. par exemple SDES (2023), « [Emplois et métiers de l'économie verte – Synthèse des connaissances en 2023](#) ».

²⁸⁸ SDES (2023), « Métiers verts et verdissants : près de 4 millions de professionnels en 2019 ».

La classification illustrative utilisée dans la suite de ce chapitre (cf. Tableau 3) croise ces deux approches, par activité et par profession. Elle repose aujourd’hui sur les listes proposées par l’Onemev pour les métiers et les activités verts, ainsi que sur des travaux du centre de recherche de la Commission européenne (JRC) pour les emplois bruns ; elle est cependant vouée à être actualisée si de nouvelles listes de professions et d’activités sont adoptées, notamment dans le cadre du nouveau référentiel de compétences ROME 4.0.

TABLEAU 2
Les différentes définitions existantes d’un emploi vert

	<u>Approche 1 : production de l’entreprise</u>	<u>Approche 2 : procédés de l’entreprise (approche relative)</u>	<u>Approche 3 : tâches et compétences du métier occupé</u>
Principe	Est-ce que les <u>biens et services produits</u> par l’entreprise sont durables ou favorables à la préservation de notre environnement ?	Est-ce que les <u>procédés</u> de l’entreprise sont particulièrement peu carbonés et économies en ressources, relativement à ses concurrentes ?	Est-ce que le métier considéré nécessite des <u>compétences environnementales</u> ou a pour objectif de <u>réduire l’empreinte de l’entreprise</u> sur l’environnement ?
Exemples	Les emplois des secteurs de la production d’énergie renouvelable, du transport ferroviaire ou du traitement des déchets	Les emplois des entreprises respectant le benchmark ETS (intensité carbone dans le top 10 % du secteur d’activité)	<u>Réduction de l’empreinte de l’entreprise</u> : ingénieur process (notamment responsable de l’efficacité énergétique), quel que soit son secteur d’activité <u>Professions dont les compétences évoluent pour y intégrer la transition</u> : les architectes
Positionnement des taxonomies européennes et françaises existantes	<u>Activités de l’économie verte de l’Onemev</u>		<u>Métiers verts et verdissants de l’Onemev</u>
	<u>Éco-activités d’Eurostat</u>		
	<u>Taxonomie verte de la Commission européenne</u>		
Exemples de positionnements académiques		L’impact d’une taxe carbone sur l’activité des entreprises dans <u>CAE (2023)</u> « La transition énergétique, un choc surmontable pour l’emploi » prend en compte cette dimension	<u>FMI, OCDE</u> : approche par les listes de compétences nécessaires pour chaque métier

Source : analyse DG Trésor.

TABLEAU 3
Principe de la taxonomie employée dans cette analyse

	Activités vertes (protègent l'environnement ou facilitent la transition)	Activités neutres	Activités brunes (très exposées au risque de transition)
Professions vertes (à finalité directement environnementale)		Emplois qui réduisent l'empreinte environnementale d'un secteur dont la finalité est indépendante de la transition <i>Ex : architectes et couvreurs dans l'isolation thermique des bâtiments</i>	
Professions verdissantes (l'évolution de leurs tâches et compétences permet la transition)		Emplois moteurs de la transition <i>Ex : architectes et couvreurs dans l'isolation thermique des bâtiments</i>	Emplois dont le secteur d'activité pourrait décroître, mais qui ont des opportunités similaires dans d'autres secteurs <i>Ex : ingénieurs et techniciens spécialistes en efficacité énergétique dans des industries peu émissives</i>
Professions neutres	Emplois « stratégiques » : ils permettent la transition mais leurs tâches et compétences restent inchangées <i>Ex : soudeurs pour l'installation d'énergies renouvelables</i>		Emplois dont les effectifs ne sont <i>a priori</i> pas menacés par la transition, mais dont les tâches, compétences ou conditions de travail devront fortement évoluer pour minimiser leur impact sur l'environnement <i>Ex : mécaniciens spécialistes de la maintenance-entretien automobile au sein d'une activité neutre</i>
Professions brunes (effectifs très concentrés dans les activités brunes)		Emplois très exposés au risque de transition <i>Ex : pilote au sein d'une compagnie aérienne</i>	

Source : base *Tous Salariés 2021*, classification illustrative construite par la DG Trésor à partir de travaux de l'Observatoire nationale des emplois et métiers de l'économie verte (Onemev) et du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne.

TABLEAU 4
Composition de l'emploi salarié en 2021

	Activités vertes (protègent l'environnement ou facilitent la transition)	Activités neutres	Activités brunes (très exposées au changement climatique ou à la transition)	Total
Professions vertes (à finalité directement environnementale)	0,4%	0,3%	0,1%	0,7%
Professions verdissantes (l'évolution de leurs tâches et compétences permet la transition)	1,9%	6,6%	0,8%	9,4%
Professions neutres	2,3%	79,3%	4,3%	85,9%
Professions brunes (effectifs très concentrés dans les activités brunes)	0,2%	0,8%	3,0%	4,0%
Total	4,8%	87,0%	8,2%	100,0%

Source : base *Tous Salariés 2021*, classification illustrative construite par la DG Trésor à partir de travaux de l'Observatoire nationale des emplois et métiers de l'économie verte (Onemev) et du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

La transition vers une économie bas-carbone nécessite de transformer les activités, ce qui peut requérir l'acquisition de compétences nouvelles²⁸⁹. La réussite de la transition dépend de la disponibilité de travailleurs formés et de l'attrait accru pour certains métiers clés de cette transition (e.g. les métiers de la rénovation énergétique des bâtiments)²⁹⁰.

Les politiques environnementales (tarification carbone, réglementations et subventions) seront le principal moteur de l'augmentation de la demande de travail en emplois verts, mais des frictions sur le marché du travail peuvent limiter l'afflux de main-d'œuvre vers ces activités. En théorie, face à une demande accrue, les forces du marché du travail permettent un ajustement de l'offre en emplois verts. En pratique, des difficultés liées à des frictions sont attendues, en particulier à court et moyen terme (ex : barrières à la mobilité géographique, inadéquation des compétences - *skills mismatch*)²⁹¹, d'autant que la France se caractérise par de faibles mobilités professionnelles sur le marché du travail pour les salariés faiblement rémunérés en comparaison internationale, ce qui accroît les coûts de la transition²⁹². L'efficacité des politiques de formation existantes en France (y compris des dispositifs de reconversion comme le Projet de transition professionnel, le Compte personnel de formation, le FNE-Formation) et l'implication des branches concernées seront cruciales pour assurer une offre de travail suffisante.

En pratique, les entreprises rencontrent déjà plus de difficultés à pourvoir les postes verts. Elles indiquaient, en 2022, que 66 % des projets de recrutements verts en France étaient difficiles à réaliser, contre 58 % en moyenne pour les projets de recrutements dans leur ensemble²⁹³. En 2022, sur les 35 métiers²⁹⁴ intégrés au périmètre de l'économie verte par l'Observatoire national des emplois et métiers de l'économie verte (Onemev), 31 ont des niveaux de tension au-dessus de la moyenne²⁹⁵. Les tensions sont principalement liées à une intensité d'embauche élevée et à un décalage entre les compétences requises par les employeurs et celles dont disposent les personnes en recherche d'emploi.

ENCADRÉ 3

Politiques mises en place à l'international face aux tensions de recrutement dans les emplois verts

Pour pallier les difficultés de recrutement associées aux métiers de la transition bas-carbone, des États ont mis en place des mesures pour augmenter l'offre de travail dans ces métiers et favoriser les gains de productivité. L'Allemagne, en particulier, fait face à une très forte demande en emplois qualifiés pour mener à bien sa transition énergétique : en 2022, environ 216 000 travailleurs qualifiés manquaient dans les filières de l'énergie solaire et éolienne²⁹⁶, malgré une très forte augmentation de l'emploi dans ces filières durant les dernières années (+50 000 emplois dans les énergies renouvelables en 2022 par rapport à l'année précédente)²⁹⁷. Les mesures mises en place par le gouvernement allemand comptent (i) un soutien aux innovations, certains économistes considérant que les innovations qui augmentent la productivité de la main d'œuvre peu ou moyennement qualifiée devraient être priorisées²⁹⁸ ; (ii) l'ouverture de places de formation ; (iii) la facilitation de l'immigration de travailleurs qualifiés, notamment via une meilleure reconnaissance de leurs diplômes²⁹⁹. Par ailleurs, des subventions régionales à l'installation des entreprises vertes auraient permis d'aligner la répartition géographique de l'offre et de la demande de travail, tandis que certaines entreprises proposent de former elles-mêmes leurs employés³⁰⁰.

Certains États ont mis en place des projets pilotes à petite échelle consistant à subventionner les emplois verts. Le Luxembourg a ainsi mis en place un programme pour les jeunes chômeurs comprenant une formation et une subvention à l'emploi dans le secteur de la construction verte³⁰¹. Le projet s'est déroulé de 2015 à 2017 et a permis de former 270 NEETs³⁰² pour un budget initial de 1,8 M€. Environ 80 % des participants ont trouvé un emploi durable dans le secteur de la construction après avoir suivi le programme. De son côté, la Slovénie a lancé en 2021 un programme pilote d'incitation à l'emploi appelé

"Emplois verts" d'un montant total de 1,5 M€. Il visait à embaucher 200 demandeurs d'emploi dans des emplois verts grâce à des subventions à destination des employeurs pendant deux ans. Le soutien salarial pouvait aller jusqu'à 340 € par mois sur la période, pour un montant maximal de 8 160 €³⁰³. Le programme avait notamment pour objectif de contrer la baisse du nombre d'ingénieurs qualifiés résidant en Slovénie (estimée à - 20 % sur 5 ans d'après la Chambre slovène des ingénieurs).

Les difficultés de recrutement rencontrées pourraient s'expliquer en partie par un manque d'attractivité des emplois verts : différentes études montrent qu'à profession donnée, ces emplois seraient plus souvent exposés à des facteurs de pénibilité et plus exigeants en termes de compétences. De premiers travaux menés sur données anglaises et américaines montrent qu'à profession donnée, les emplois verts sont plus exigeants en termes de compétences, à la fois sur le nombre de compétences nécessaires, mais également sur leur niveau³⁰⁴. Une étude sur données françaises met par ailleurs en évidence que les salariés occupant des emplois verts et verdissants sont plus souvent exposés à des facteurs de pénibilité que les autres. Si une partie de ces écarts de prévalence est attribuable aux caractéristiques de ces salariés (profession, genre, âge, etc.), il existe bien des différences d'exposition toutes choses égales par ailleurs, qui ne sont pas liées à ces dernières : les salariés occupant des emplois verts et verdissants sont ainsi plus souvent exposés aux vibrations mécaniques, aux bruits nocifs ou aux agents cancérogènes que les autres salariés présentant des caractéristiques identiques³⁰⁵. Les professions vertes seraient également davantage exposées aux effets du changement climatique, et notamment à l'augmentation de la chaleur³⁰⁶.

De plus, de premiers travaux sur données britanniques, américaines et françaises montrent qu'une prime salariale verte (i.e. un salaire plus élevé dans les activités vertes toutes choses égales par ailleurs) existe mais a diminué au cours des dix dernières années. Cette prime salariale

²⁸⁹ Vona F. (2021), "Labour Markets and the Green Transition. A Practitioner's Guide to the Task Based Approach", Luxembourg, Publications Office of the European Union

²⁹⁰ France Stratégie (2023), op. cit.

²⁹¹ L'élément essentiel à la réussite du processus de réallocation est in fine la présence de compétences appropriées de la main-d'œuvre pour réaliser les tâches nécessaires à la transition et leur appariement avec les postes concernés. - Vona F. (2021), "Labour Markets and the Green Transition. A Practitioner's Guide to the Task Based Approach", Luxembourg, Publications Office of the European Union.

²⁹² Cf. Barreto, C. et al. (2025), « L'emploi à bas salaire en France : Une perspective transnationale », *Documents de travail de l'OCDE sur les questions sociales, l'emploi et les migrations*, n° 313. Par ailleurs, la courbe de Beveridge affiche une pentification prématuée en France par rapport à nos partenaires (cf. DG Trésor (2023), « [Assurance-chômage contre-cyclique : pourquoi ?](#) », billet de la cheffe économiste), qui traduit une relative inefficacité du marché du travail à mettre en relation les chômeurs et les emplois.

²⁹³ Akanza G.-S. (2023), « Des difficultés de recrutement persistent en 2022 dans le secteur de l'économie verte », Ministère de la Transition écologique et solidaire, SDES

²⁹⁴ Au sens de la nomenclature des Familles Professionnelles (FAP).

²⁹⁵ Parmi ces 31 métiers de l'économie verte qui présentent un niveau élevé de tension en 2022, on compte par exemple les « techniciens et agents d'encadrement d'exploitations agricoles » ou les « électriens du bâtiment ».

²⁹⁶ [KOFA-Studie 3/2022: Energie aus Wind und Sonne – welche Fachkräfte brauchen wir? - Institut der deutschen Wirtschaft \(IW\) \(iwkoeln.de\)](#)

²⁹⁷ Source : [Communication](#) du Ministère fédéral allemand de l'Économie et de la Protection du climat (BMWK)

²⁹⁸ Rodrik D. et Stantcheva S. (2021), "Fixing capitalism's good jobs problem", Oxford Review of Economic Policy

²⁹⁹ [Ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche \(2023\) - 6e rapport portant sur la loi de reconnaissance des diplômes étrangers](#)

³⁰⁰ [Learn by doing, German renewables companies bid to beat labour shortage | Reuters](#)

³⁰¹ OECD (2023) "Job creation and local economic development 2023: Bridging the great green divide"

³⁰² Not in Education, Employment or Training

³⁰³ European Commission (2023), "2023 Country Report - Slovenia", European Economy Institutional Papers, Institutional paper 248

³⁰⁴ Saussay A., Sato M., Vona F. et O'Kane L. (2022), "Who's fit for the low-carbon transition? Emerging skills and wage gaps in job and data", FEEM Working paper n°31

³⁰⁵ Havet et al. (2023), « La pénibilité au travail dans les professions de l'économie verte ».

³⁰⁶ France Stratégie (2023), « Le travail à l'épreuve du changement climatique ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

verte, qui correspond à une meilleure rémunération dans les activités vertes à caractéristiques³⁰⁷ égales, est économiquement justifiée par l'exigence en compétences et la pénibilité des emplois verts (usuellement non observées dans les données utilisées), sans que le montant nécessaire pour neutraliser leur effet ne soit précisément connu. Une étude académique sur données britanniques et américaines montre que cette prime salariale, qui existait dans ces deux pays au début des années 2010, a rapidement diminué depuis et aurait déjà disparu dans de nombreuses professions³⁰⁸. Une réPLICATION de ces travaux sur les données françaises³⁰⁹ aboutit à un résultat similaire. Selon les catégorisations présentement retenues (cf. Encadré 2), en 2021 un salarié d'une activité verte aurait en moyenne reçu une rémunération 3,6 % plus élevée qu'un salarié d'une activité neutre présentant les mêmes caractéristiques³¹⁰. Cet écart dépassait 4 % entre 2010 et 2015. En revanche, une prime salariale brune est également observée dans ces données : entre 2010 et 2021, à caractéristiques équivalentes, un salarié aurait été rémunéré environ 5 % de plus en travaillant dans une activité brune, relativement à une activité neutre.

La transition écologique, à l'instar de la transition numérique, rendra également nécessaire l'acquisition, à poste égal, de nouvelles compétences par les travailleurs concernés. Ainsi, les employeurs anticipent la mise en place de nouvelles méthodes de travail (gestes métiers, application des normes, formes de collaboration entre corps de métiers, nouveaux outils et nouvelles matières premières) et l'adaptation de compétences déjà existantes³¹¹. Le rapport Parisot³¹² note par exemple que de nombreuses compétences nouvelles sont attendues de la part des travailleurs du secteur de l'énergie : la transition rend nécessaires davantage de communication avec le consommateur³¹³, une plus grande maîtrise des données numériques, en particulier chez les gestionnaires de réseaux, ou encore des compétences technico-juridiques plus importantes, en vue d'appréhender les évolutions juridiques et d'adapter les services en conséquence.

7.3 La sortie ou la transformation des emplois bruns nécessite un suivi des territoires et des profils vulnérables

7.3.1 Tous les emplois bruns ne sont pas exposés à un fort risque de transition

Les emplois bruns représentent au total 9,2 % de l'emploi, mais seuls 3 % peuvent être considérés comme particulièrement exposés. Les emplois bruns peuvent être séparés en quatre sous-catégories :

- **Les professions brunes au sein des activités polluantes sont les emplois les plus exposés au risque de transition et représentent 3 % de l'emploi salarié en 2021** (cf. Tableau 4). Ces activités à risque sont celles qui sont directement liées aux produits fossiles. Elles concernent surtout certaines filières industrielles et de maintenance spécifiques,

³⁰⁷ Ces caractéristiques comprennent usuellement la profession, l'expérience professionnelle, l'ancienneté dans l'entreprise, le genre, la région de résidence et le type de contrat de travail. Les facteurs de pénibilité et la liste des compétences requises ne sont pas directement observés dans les bases de données classiques.

³⁰⁸ Saussay, Sato, Vona et O'Kane (2023), « Who's fit for the low-carbon transition? Emerging skills and wage gaps in job ad data », Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 406

³⁰⁹ [Panel Tous Salariés 2021](#), base statistique construite par l'INSEE.

³¹⁰ Comme précédemment, les caractéristiques contrôlées comprennent la profession, l'expérience professionnelle, l'ancienneté dans l'entreprise, le genre, la région de résidence et le type de contrat de travail.

³¹¹ Lainé F., Matus L. (2022), « Recrutement, compétences et transition écologique ; des enjeux qui se polarisent sur quelques secteurs », Eclairages et synthèses, Pôle Emploi

³¹² Parisot L. (2019), « Plan de programmation de l'emploi et des compétences »

³¹³ L'installation récente des compteurs Linky fournit un bon exemple : les techniciens installateurs doivent faire preuve de pédagogie pour favoriser son acceptation.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

notamment dans la construction, la maintenance et la réparation automobile³¹⁴, ou la métallurgie, ainsi que les activités de transport routier et aérien, dont la croissance pourrait être limitée par du report modal. Les activités d'extraction et de cokéfaction-raffinage d'énergies fossiles, qui emploient très peu de salariés en France, sont également concernées.

- Les professions brunes au sein des activités vertes et neutres (1 % de l'emploi salarié en 2021) sont généralement associées à des professions de conducteurs routiers ou de mécaniciens automobiles, comme dans le point précédent, mais cette fois au sein d'activités industrielles peu émissives ou de services. Si la transition bas-carbone peut impliquer du report modal (cf. Chapitre 10), ces emplois sont surtout concernés par une transformation des tâches et compétences sans nécessairement de réduction systématique des effectifs, avec la disparition progressive des véhicules thermiques.
- Les professions vertes et verdissantes dans les activités brunes (0,9 % de l'emploi salarié en 2021) participent à réduire l'impact de leur entreprise sur l'environnement et sur leur consommation de ressources. Elles sont associées à une augmentation nette de la demande de travail et à de fortes tensions de recrutement : dans l'éventualité de disparition d'une entreprise émissive, les possibilités de transition professionnelle existent dans d'autres activités vertes et neutres pour ces salariés. L'enjeu principal est de limiter les frictions lors de ces réallocations.
- Les professions neutres dans les activités brunes, soit 1,2 million de personnes en 2021 (4,3 % de l'emploi) sont globalement dans le même cas : ces professions ne sont pas spécifiques aux activités émissives et ne sont *a priori* à risque qu'en cas de contraction générale de l'activité.

Les secteurs d'activité bruns sont concernés par une transformation de leur activité à horizon 2050. C'est par exemple le cas des industries automobile et métallurgique, qui sont surtout concernées par une décarbonation de leurs procédés et un changement de composition des biens produits³¹⁵, tandis que la réduction de la demande induite par la transition bas-carbone (notamment via l'essor de l'économie circulaire) est plus secondaire³¹⁶.

7.3.2 Il importe d'anticiper ces réallocations, qui pourront nécessiter des reconversions, un accompagnement spécifique, voire une diversification économique au niveau local

Dans ce contexte, le soutien à la décarbonation des secteurs émissifs exposés à la concurrence internationale, comme l'industrie, contribue à la transformation des emplois bruns. L'État consacre ainsi des moyens importants à la compétitivité verte. Cela inclut notamment le plan d'investissement France 2030, doté d'un montant total de 54 Md€ d'ici à 2030, avec des volets transports, décarbonation de l'industrie et hydrogène, énergie décarbonée, matériaux durables, agriculture et agroalimentaire, ainsi que le crédit d'impôt pour la décarbonation de l'industrie, et des garanties de Bpifrance. Par ailleurs, pour accélérer la décarbonation de l'industrie en France, l'État a signé en novembre 2023 des contrats de transition écologique avec les 50 sites industriels les plus émetteurs, représentant environ 55 % des émissions directes de l'industrie. Ces contrats engagent les entreprises à mettre en œuvre leurs meilleurs efforts pour réaliser des investissements ambitieux dans la décarbonation de leurs activités, avec l'objectif de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 45 % d'ici 2030 (par rapport à 2015). De son côté, l'État s'engage à soutenir ces efforts par des subventions basées sur une évaluation des besoins totaux

³¹⁴ À nombre de véhicules produits égal, le passage à l'électrique réduit les besoins en emplois de la filière automobile, ainsi que des filières de réparation et de maintenance, un moteur électrique étant moins complexe qu'un moteur thermique. Cf. par exemple Direction générale des entreprises (2024), « Portrait de la filière automobile à l'heure de sa transition vers l'électrique », Théma n°22.

³¹⁵ L'industrie automobile européenne doit ainsi basculer vers les véhicules électriques à horizon 2035, tandis que les aciéries produiront davantage d'acier de ferraille qu'aujourd'hui. Cf. France Stratégie (2024), « Les coûts d'abattement – Partie 7 Acier ».

³¹⁶ Cependant, ces secteurs peuvent par ailleurs être confrontés à une réduction structurelle de la demande ou des emplois. Cf. par exemple CFDT (2021), « [Automobile : comment relever le défi d'une transition juste](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

en capital et en coût d'exploitation pour des actifs bas-carbone nécessaires à la trajectoire de décarbonation du secteur à l'horizon 2030 (par exemple électrolyseurs, fours électriques, chaudières biomasse, captage et stockage du carbone).

Les leçons à tirer des exemples étrangers d'accompagnement des transitions pour la France sont complexes (cf. Encadré 4), et les exercices de comparaison présentent des limites notamment au regard de l'ampleur des chocs considérés. En particulier, en l'absence d'évaluation causale des dispositifs, leur efficacité réelle reste incertaine. De plus, les caractéristiques propres à la France, telles que ses spécificités régionales et son modèle social, peuvent limiter la réplicabilité des dispositifs observés à l'étranger. Les exemples évoqués sont susceptibles de différer du contexte de la transition écologique dans les dimensions suivantes : (i) la transition aurait un impact hétérogène au sein de chaque secteur, (ii) le déclin de certaines activités s'accompagnerait du développement d'autres activités, et (iii) une partie de la transition peut se faire en modernisant l'appareil productif existant. Par ailleurs, certaines mesures temporaires d'accompagnement à la reconversion mises en place à l'étranger rappellent des dispositifs permanents déjà présents en France (cf. Encadré 5).

ENCADRÉ 4

Exemples étrangers de réallocations sectorielles

Le choc induit par la transition vers la neutralité carbone peut être mis en parallèle avec des transitions historiques, tout en reconnaissant les spécificités propres à chaque contexte. La sortie de l'industrie minière est l'exemple de transition intersectorielle depuis une industrie polluante le plus documenté dans la littérature. Elle a notamment concerné la région allemande de la Ruhr (450 000 emplois en moins dans l'industrie minière³¹⁷), le Royaume-Uni (disparition de 200 000 emplois miniers en 10 ans³¹⁸) et l'Australie (fermeture de cinq centrales à charbon, soit 1 800 emplois³¹⁹). La désindustrialisation française et les plans sociaux associés, intervenus à partir de 1997 sous l'effet de la concurrence internationale et de l'automatisation, pourraient revêtir des caractéristiques communes avec le choc induit par la transition sur les activités les plus émissives.

Le déclin d'une activité économique peut avoir, en l'absence d'accompagnement, des répercussions négatives durables sur les salaires et l'emploi local. Au Royaume-Uni, les mineurs déplacés par le déclin de l'industrie charbonnière dans les années 1980 ont subi une baisse de salaire de 40 % au cours de la première année après leur retour à l'emploi, et leurs salaires sont restés environ 20 % inférieurs à ceux des groupes témoins 15 ans plus tard³²⁰. De même, suite à la mise en place du Clean Air Act Amendments (CAA) aux États-Unis, les travailleurs restés dans les secteurs nouvellement réglementés ont vu leurs rémunérations diminuer de plus de 5 % en moyenne au cours des trois années suivant l'instauration de la réglementation³²¹. Leurs rémunérations n'ont commencé à retrouver les niveaux d'avant la mise en place du CAAA qu'à partir de cinq ans. En Australie, le chômage régional a augmenté d'environ 0,7 point

³¹⁷ Vandeplas A. et al. (2022), "The possible implications of the green transition for the EU labour market", European Commission Discussion paper 176

³¹⁸ Rud J-P. et al. (2022), "Job displacement costs of phasing out coal", IZA discussion paper series

³¹⁹ Burke P. J. et al. (2019) "Closures of coal-fired power stations in Australia: local unemployment effects", Australian Journal of Agricultural and Resource Economics

³²⁰ Rud J-P. et al. (2022), "Job displacement costs of phasing out coal", IZA discussion paper series

³²¹ Walker W. R. (2013), "The transitional costs of sectoral reallocation: evidence from the clean air act and the workforce", The Quarterly Journal of Economics

de pourcentage après la fermeture des centrales électriques à charbon, un effet qui tend à persister au-delà des mois immédiatement après les fermetures³²².

En France, les plans sociaux liés à la désindustrialisation ont également eu des répercussions durables sur le marché du travail local. Les zones d'emploi où un plan social a eu lieu connaissent un taux de chômage plus élevé, les emplois y sont plus précaires et les créations d'établissements plus faibles : six ans après le plan social, les parts d'intérimaires et de CDD dans l'emploi total sont respectivement 21 % et 47 % plus élevées et le taux de chômage est supérieur de 12 % à celui d'une zone non touchée. Par ailleurs, les trajectoires salariales après un plan social sont dégradées, surtout pour les moins qualifiés : les salariés peu qualifiés, s'ils ont retrouvé un emploi, ont un salaire inférieur de 38 % un an après le plan social et de 10 % six ans après, là où les salariés qualifiés ne subissent quasiment aucune perte de salaire³²³.

Pour atténuer le coût social associé au déclin de certains secteurs, des États ont mis en place des mesures de compensation pour les travailleurs directement affectés ainsi qu'un accompagnement spécifique des reconversions professionnelles. Lors de la sortie de l'industrie du charbon dans la région allemande de la Ruhr à partir des années 1960, les mineurs ont pu bénéficier de compensations financières. Pour faciliter les reconversions, l'Écosse a créé un fonds de formation à la transition pétrolière et gazière entre 2016 et 2019, proposant des voies de reconversion spécifiques pour les travailleurs licenciés (financement de la reconversion de 4 000 travailleurs dont environ 90 % ont réussi à trouver un nouvel emploi)³²⁴. En Australie, une des fermetures de centrale à charbon (sur cinq) a fait l'objet d'un plan d'accompagnement renforcé ; aucun effet négatif sur le chômage régional n'a été observé, contrairement aux autres sites.

Pour accompagner le déclin de certains secteurs, les exemples étrangers font apparaître deux grands modèles d'accompagnement des transitions en fonction des caractéristiques des territoires affectés :

- Au sein de bassins d'emploi diversifiés, un accompagnement renforcé à la reconversion ciblé sur les travailleurs directement affectés se serait à plusieurs reprises avéré a priori suffisant pour limiter les répercussions négatives liées aux reconversions³²⁵ ; cependant la littérature académique ne s'est pour l'instant pas intéressée à l'effet causal de ces dispositifs.
- En revanche, au sein de territoires économiquement peu diversifiés, les régions (allemandes principalement) ont également mis en œuvre des mesures d'incitation à la diversification économique : investissements dans les infrastructures de transport pour renforcer la mobilité des anciens mineurs vers de nouvelles zones d'emploi, développement d'universités et d'instituts de recherche, subventions à l'installation de nouvelles entreprises³²⁶.

La nature et l'étendue des mesures d'accompagnement proposées dépendent aussi de la portée des réallocations industrielles et sectorielles, qu'elles se limitent à quelques infrastructures polluantes spécifiques (comme en Écosse ou en Australie) ou qu'elles impliquent une part significative de l'économie locale (comme dans la Ruhr).

³²² Burke P. J. et al. (2019) "Closures of coal-fired power stations in Australia: local unemployment effects", Australian Journal of Agricultural and Resource Economics

³²³ Arquié A. et Grjebine T. (2023), "Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?", La lettre du CEPII

³²⁴ European Commission (2019), Plateform for Coal Regions in Transition – Case study: "Oil and gas transition training fund, Scotland". L'étude est descriptive et ne mesure pas d'effet causal de la mesure sur l'emploi.

³²⁵ Conclusion tirée de la comparaison des différents exemples internationaux précédents (Australie, Allemagne, Écosse et plus généralement le Royaume-Unis, États-Unis). Cette conclusion est également présentée par l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) dans son rapport publié fin 2024 « Les enjeux sociaux du changement climatique : un éclairage international pour une feuille de route nationale » (p.65).

³²⁶ Oei P. Y. et al. (2020), "Lessons from Germany's hard coal mining phase-out: policies and transition from 1950 to 2018", Climate Policy

ENCADRÉ 5

Les dispositifs actuels d'aide à la reconversion en France

L'assurance chômage permet, pour une durée limitée, de préserver le pouvoir d'achat des personnes perdant involontairement leur emploi. En complément, il existe de nombreux dispositifs d'accompagnement à la reconversion en France. En revanche, ces dispositifs ne sont à ce stade pas spécifiquement fléchés vers les métiers favorables à la transition écologique, par exemple en incitant à la réallocation vers un emploi vert³²⁷.

Des dispositifs individuels sont à l'initiative du salarié, et peuvent être :

- **Informationnels** : c'est le cas du conseil en évolution professionnelle, qui accompagne le salarié dans la construction d'un projet d'évolution professionnelle (reconversion, reprise ou création d'activité), ou du bilan de compétences, qui évalue les compétences professionnelles et aptitudes mobilisables pour ce projet ;
- **Subventionnels** : par exemple, le dispositif « projet de transition professionnelle » (PTP) prend en charge une partie de la rémunération du salarié et les coûts pédagogiques de sa formation (en complément du CPF), d'une durée maximale d'un an, pendant sa reconversion. Environ 20 000 dossiers ont été acceptés en 2022, pour un coût d'environ 29 000 € par bénéficiaire et un taux de réalisation des reconversions d'environ 60 %. En outre, le dispositif « reconversion ou promotion par alternance » (Pro-A), d'une durée de 6 à 12 mois³²⁸, permet au salarié de bénéficier d'une certification professionnelle par une formation en alternance lorsqu'il change de profession ou connaît une promotion professionnelle. Ce second dispositif est destiné aux salariés les moins diplômés (diplôme strictement inférieur à la licence). En 2022, 14 000 dossiers ont été acceptés pour un coût de 10 500 € par bénéficiaire.

D'autres dispositifs sont collectifs, en prévision de mutations économiques ou en cas de plans de licenciement.

- **Le contrat de sécurisation professionnelle (CSP)**, d'une durée maximale d'un an, permet à un salarié licencié pour motif économique de bénéficier d'un accompagnement renforcé, qui peut comporter des périodes de formation et de travail en entreprise. Le salarié touche par ailleurs une allocation de sécurisation professionnelle (ASP) plus élevée que le niveau d'indemnisation chômage de droit commun.
- **Le dispositif « Transitions collectives » (TransCo)** permet à des salariés dont l'emploi a été identifié par leur employeur comme fragilisé en raison de mutations économiques de bénéficier d'un parcours de reconversion et du maintien de leur rémunération pendant l'ensemble de ce dernier, d'une durée maximale de deux ans. En parallèle, les entreprises du même bassin d'emploi dont des métiers ont été identifiés comme porteurs peuvent faire appel à des salariés qui ont suivi un parcours de reconversion dans le cadre du dispositif TransCo. Ce dispositif a été peu déployé jusqu'à présent : 255 dossiers ont été pris en charge en 2022.
- **Le Fonds national de l'emploi – Formation (FNE-Formation)** permet aux entreprises d'être accompagnées par l'État dans le financement des actions de formation concourant à la préservation et au développement des compétences de leurs salariés face aux grandes mutations économiques. À partir de 2023, les actions éligibles ont été ciblées sur la transition écologique, la transition alimentaire et agricole, la transition numérique et la transition démographique.

³²⁷ Des travaux relatifs au « verdissement » de certains de ces dispositifs sont en cours sous l'égide du ministère chargé de l'emploi.

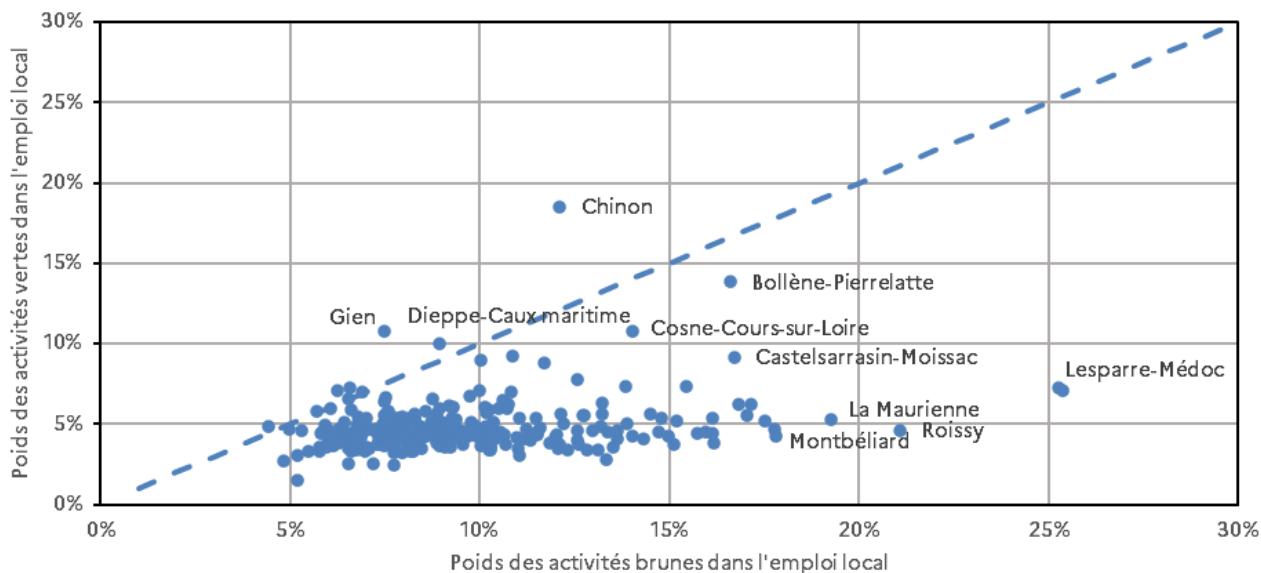
³²⁸ Cette durée peut être allongée à 24 mois par accord de branche pour certains bénéficiaires, et jusqu'à 36 mois pour certains publics spécifiques.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

En France, les emplois les plus exposés à la transition cumulent plusieurs caractéristiques associées à des difficultés de reconversion^{329, 330}. Ainsi, d'après les données administratives françaises 2021, ces emplois sont aujourd'hui exercés à 84 % par des travailleurs non ou peu qualifiés³³¹, et sont associés à des revenus faibles à intermédiaires (1^{er} à 7^e dixième de salaire annuel net). Concernant l'âge des salariés occupant actuellement ces postes, les situations sont hétérogènes selon le domaine d'activité : dans la maintenance automobile, 70 % des salariés des professions brunes ont moins de 45 ans, alors que cette proportion n'est que de 30 % dans les énergies fossiles (cokéfaction-raffinage et gaz naturel) et 35 % dans l'aéronautique et le transport aérien.

Contrairement aux activités vertes qui sont réparties de manière homogène sur le territoire, les activités brunes sont plus concentrées dans certaines zones d'emploi³³² (cf. Graphique 1). Le poids des activités vertes est ainsi compris entre 3 et 8 % selon les zones d'emploi, tandis que les activités brunes sont plus concentrées dans certaines zones d'emploi spécialisées dans une activité industrielle émissive (par ses procédés ou les biens qu'elle produit, cf. Graphique 2) ou agricoles. L'éventuelle transformation voire disparition d'activités brunes pourrait dès lors significativement affecter le dynamisme économique de certains bassins d'emploi, et ce même lorsque l'activité brune a un poids national marginal. Par ailleurs, les milieux ruraux sont à 13 % composés d'emplois des activités brunes, pour seulement 8 % dans les zones urbaines. Ces zones devront d'autant plus faire l'objet d'un suivi attentif qu'une plus faible densité de population s'accompagne d'une réduction des opportunités de reconversion et de changement d'employeur³³³.

GRAPHIQUE 1
Poids des activités vertes et brunes dans chaque zone d'emploi



Source : base *Tous Salariés*, Insee, calculs DG Trésor.

Note : les points correspondent aux 287 zones d'emploi de France métropolitaine (construites pour inclure un maximum de trajets domicile-travail et labellisées par les villes qu'elles contiennent). Le poids des activités brunes dans l'emploi peut parfois être surestimé : en l'absence de données locales sur les types d'exploitations d'agriculture-élevage, des clés de répartition nationales sont appliquées au niveau local.

³²⁹ Arquié A. et Grjebine T. (2023), "Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?", La lettre du CEPII

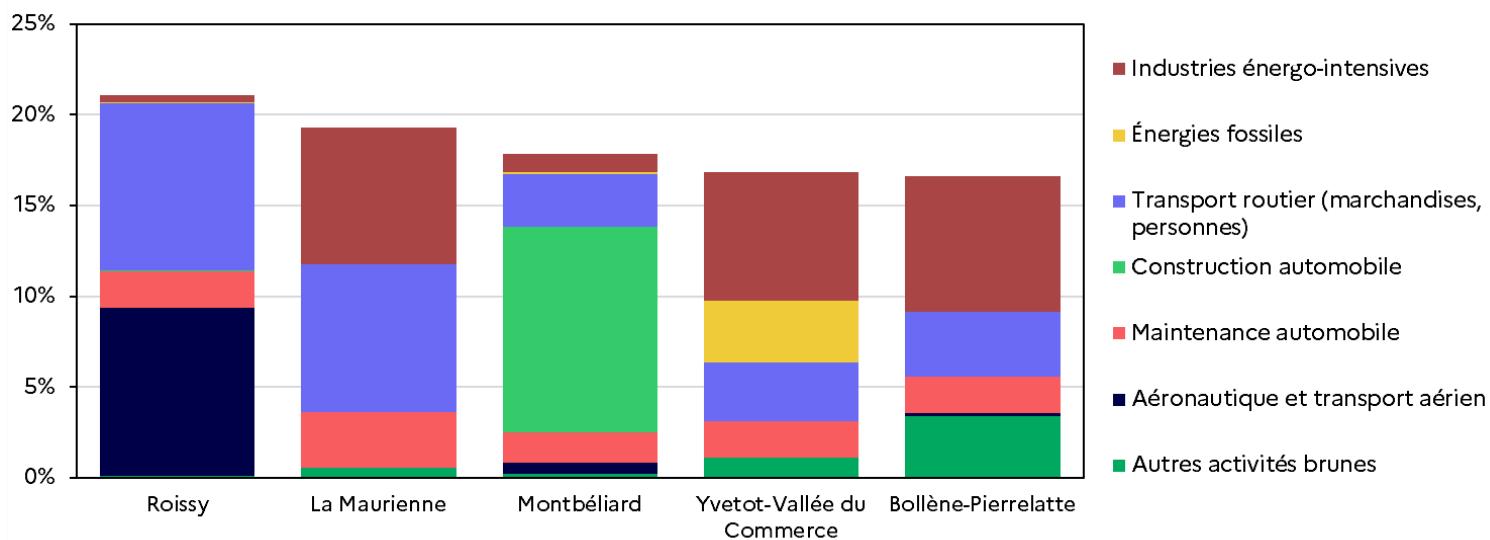
³³⁰ Il s'agit des professions brunes dans des activités directement ou indirectement émissives, qui en cas de perte d'emploi n'auront que peu de débouchés disponibles dans la même profession, cf. *supra*.

³³¹ Diplôme correspondant ou inférieur au Baccalauréat.

³³² Les zones d'emploi sont un niveau géographique construit par l'Insee de manière à inclure un maximum de trajets domicile-travail. Ainsi, une zone d'emploi est un ensemble de communes dans lequel la plupart des actifs résidents travaillent, et où les établissements peuvent trouver l'essentiel de leur main-d'œuvre.

³³³ Cf. par exemple [Insee \(2021\), "Les territoires au cœur des crises, des disparités et des enjeux de développement durable"](#)

GRAPHIQUE 2
Poids des activités brunes dans l'emploi et contributions par type d'activité,
pour quelques exemples de zones d'emploi



Source : base *Tous Salariés*, Insee, calculs DG Trésor.

Lecture : près de 20 % des emplois de la zone de la Maurienne travaillent dans des activités brunes. Ces 20 % d'emplois bruns sont concentrés dans les industries énergo-intensives (8 points de pourcentage), notamment la production d'aluminium, puis dans le transport routier (8 p.p.) et la maintenance automobile (3 p.p.).

8 Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone pour l'industrie française

Messages-clés

L'industrie française se positionne actuellement parmi les moins carbonées à l'échelle mondiale.

- L'intensité carbone de l'industrie manufacturière a fortement diminué en trente ans : les émissions directes ont diminué de moitié (-51 % sur la période 1990-2022) alors que la production a augmenté de moitié (+49 % en volume).
- Par ailleurs, en incluant les émissions indirectes, l'industrie française bénéficie de la faible intensité carbone de la production d'électricité française.

La transition implique une transformation technico-économique majeure pour les industries manufacturières fortement émettrices.

- Les émissions de gaz à effet de serre de l'industrie, qui représentaient 18 % des émissions territoriales françaises en 2022, doivent baisser d'environ 37 % à horizon 2030 d'après le projet de 3^{ème} stratégie nationale bas-carbone (SNBC 3), et représenter alors 16 % des émissions territoriales françaises.
- L'atteinte de la neutralité carbone pour l'industrie nécessite de recourir à des leviers variés, aux coûts d'abattement hétérogènes et évolutifs.
- La décarbonation de la production existante requiert des dépenses supplémentaires évaluées à 5 Md€ par an en 2030 par rapport à 2021: 4 Md€/an d'investissements et 1 Md€/an de dépenses opérationnelles.
- Avec la transition, les déterminants de la compétitivité de l'industrie sont amenés à évoluer, en particulier pour les industries énergo-intensives, pour lesquelles la disponibilité d'électricité bas-carbone (cf. Chapitre 9), d'hydrogène bas-carbone, et la faculté d'innovation verte occuperont une place importante.
- La poursuite de sa décarbonation contribuera à améliorer sa sécurité d'approvisionnement.

Une transition de l'industrie efficiente économiquement suppose de s'appuyer sur un prix du carbone, via le marché du carbone européen (EU ETS), accompagné d'instruments complémentaires, dont le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF).

- Le prix du carbone, via l'EU ETS, est un instrument puissant pour réduire les émissions de l'industrie de manière coût-efficace.
- Il est toutefois confronté à plusieurs limites, dont les fuites de carbone et les externalités de connaissance, qui justifient le recours à des instruments complémentaires, tels que le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), les soutiens à l'innovation bas-carbone et les aides au déploiement de solutions de décarbonation (e.g. France 2030).
- D'autres mesures, telles que les dispositifs de prêts et de garanties ou la notation extra-financière, peuvent par ailleurs être pertinentes pour lever les freins à cette transition qui subsisteraient même en présence d'un prix du carbone et en l'absence de fuites (contraintes de financements des investissements de décarbonation, dépendance au sentier, différence entre l'horizon de rentabilité des dirigeants d'entreprise et l'horizon de la transition).

La transition implique une réorganisation des chaînes de valeur mondiales des filières brunes vers les filières bas-carbone, avec un double enjeu de positionnement pour l'industrie française et de sécurisation des chaînes d'approvisionnements.

- Le commerce mondial en produits bas-carbone est en croissance (+29 % en valeur sur la période 2018-2023).
- La France se spécialise dans l'exportation de certains produits bas-carbone, sans toutefois bénéficier d'une spécialisation globale sur l'ensemble des biens bas-carbone. Les exportations françaises sont moins exposées au risque de transition que celles d'autres pays, en particulier les exportateurs d'hydrocarbures.
- La transition pose de nouveaux enjeux pour la sécurisation des approvisionnements avec un risque de concentration, notamment en Chine (e.g. la Chine a aujourd'hui une position dominante dans l'extraction et le raffinage des terres rares, métaux essentiels à la transition), qui invite notamment à diversifier les sources d'approvisionnement.

L'innovation bas-carbone, dans laquelle l'industrie occupe une place majeure, est un facteur clé pour la réussite économique de la transition et justifie un soutien public particulier, à l'image de France 2030 et du fonds pour l'innovation européen.

- Une transition à moindre coût pour l'économie mondiale et nationale nécessite des efforts additionnels d'innovation incrémentale et de rupture. Plusieurs défaillances de marché et barrières spécifiques à la R&D bas-carbone (e.g., difficultés de financement et coûts de coordination majorés) justifient un soutien public particulier à celle-ci.
- Ce soutien public est aujourd'hui présent au niveau national (e.g. France 2030) et au niveau européen (e.g. programme-cadre Horizon Europe, Fonds pour l'innovation adossé à l'EU ETS).
- Dans un contexte de concurrence intense, l'Europe est à la pointe du développement des technologies bas-carbone, selon une mesure de la densité de brevets déposés dans des technologies clés. L'innovation bas-carbone en France est notamment spécialisée dans les technologies de décarbonation pour l'aérien et le ferroviaire, et dans le nucléaire.

8.1 La transition implique une transformation technico-économique pour les industries fortement émettrices

8.1.1 L'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 nécessite de recourir à des leviers de décarbonation variés, aux coûts d'abattement hétérogènes et évolutifs

Les émissions directes³³⁴ de gaz à effet de serre (GES) de l'industrie, qui représentaient 18 % des émissions territoriales françaises en 2022, doivent baisser d'environ 37 % à horizon 2030 d'après le projet de stratégie nationale bas-carbone 3 (SNBC 3). Les émissions de l'industrie s'élevaient à 71 MtCO₂éq en 2022³³⁵. Elles sont concentrées sur un petit nombre de secteurs et de sites. Ainsi, trois secteurs représentent 72 % des émissions de l'industrie : les minéraux non métalliques et les matériaux de construction (19 MtCO₂éq), comme le ciment; la chimie (17 MtCO₂éq), avec notamment la production d'éthylène, de propylène ou d'ammoniac; et la métallurgie (16 MtCO₂éq), avec notamment l'acier. De plus, les 50 sites industriels les plus émetteurs sont

³³⁴ Les émissions directes de gaz à effet de serre dans le secteur de l'industrie proviennent directement des activités industrielles, comme la combustion de combustibles fossiles sur site, tandis que les émissions indirectes résultent de la consommation d'électricité, de chaleur ou de vapeur produites hors site.

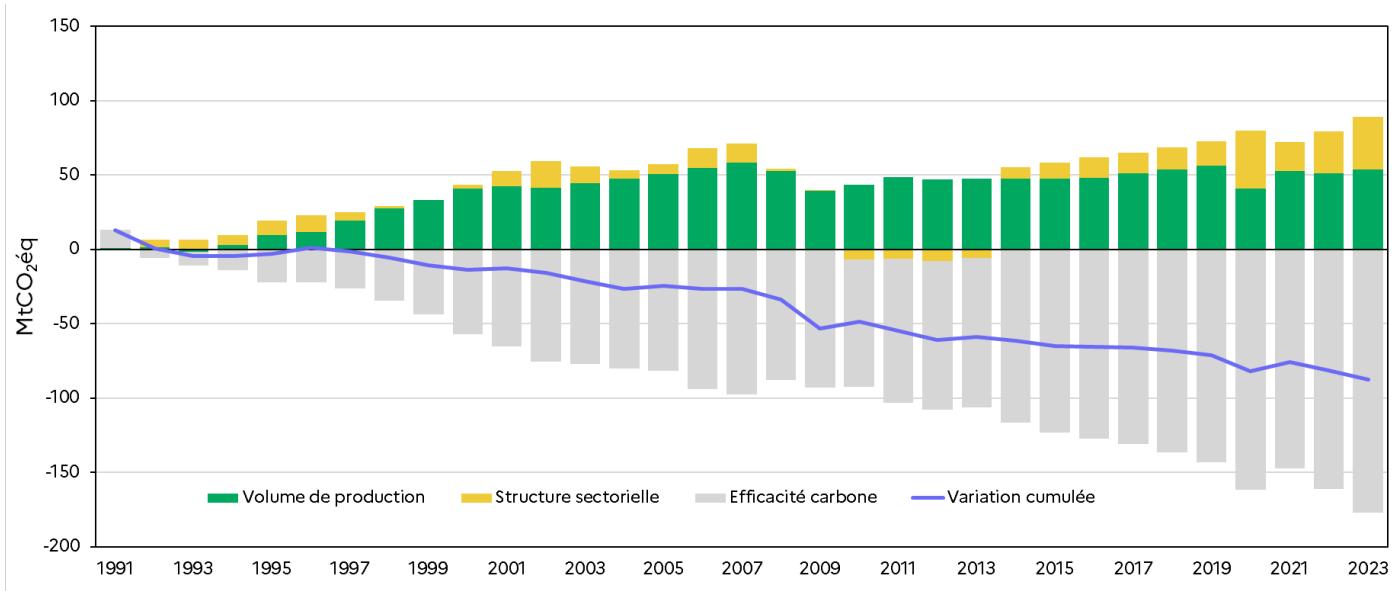
³³⁵ Il s'agit là des émissions directes du secteur « industrie manufacturière et construction », usuellement abrégé en « industrie ». Dans le détail, la construction ne représente qu'une part marginale des émissions du secteur (5% des émissions du secteur en 2022 avec 3,9 MtCO₂éq). Les industries de l'énergie, telles que le raffinage du pétrole, ne sont pas incluses dans le secteur « industrie ». Source : Citepa, avril 2024 - Format SECTEN

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

responsables de 55 % des émissions de l'industrie³³⁶. Les émissions de l'industrie doivent atteindre 45 MtCO₂éq en 2030 dans le projet de SNBC 3.

Par le passé, l'industrie manufacturière française a fortement réduit son intensité carbone grâce à des investissements permettant de réduire les émissions et d'améliorer les procédés de fabrication. Sur la période 1990-2022, l'industrie manufacturière est le secteur ayant le plus réduit ses émissions directes, avec une réduction de 51 %, contre 18 % pour les autres secteurs. Dans le même temps, la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière (en volume) a augmenté de 49 %. La réduction des émissions de l'industrie s'est ainsi appuyée sur des investissements permettant d'améliorer « l'efficacité carbone » : amélioration de l'efficacité énergétique, décarbonation des procédés de production, recours à des énergies moins carbonées³³⁷. À l'inverse, l'augmentation de la production tout comme l'évolution de la structure sectorielle ont eu un effet haussier sur les émissions (cf. Graphique 1). Cette hausse aurait été plus élevée en l'absence de désindustrialisation : cette dernière a ainsi contribué à la réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie manufacturière³³⁸. Il est aussi à noter que la présente analyse concerne les émissions associées à la production de biens manufacturés en France, et non les émissions associées à la consommation domestique de biens manufacturés. Ces derniers sont majoritairement importés, avec une part de la demande intérieure produite en France de 38 % en 2019³³⁹ (elle était de 57 % en 1990). Plus généralement et en élargissant à l'ensemble de la demande intérieure, l'empreinte carbone de la France, dont les émissions importées représentent plus de la moitié en 2023, a moins baissé que les émissions territoriales (cf. Chapitre 1).

GRAPHIQUE 1
Contributions à la baisse cumulée des gaz à effet de serre
dans l'industrie manufacturière depuis 1990



Source : Insee ; calculs DG Trésor selon la méthodologie décrite dans DG Trésor (2021) « [Which industrial firms make decarbonization investments ?](#) ».

³³⁶ Gouvernement (2024), « Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3 » (p.62)

³³⁷ Bornstein, Anna & Faquet, Romain (2021) [La décarbonation de l'industrie en France](#), Trésor éco n°291.

³³⁸ La définition de la désindustrialisation et sa mesure sont délicates et plurielles. Selon l'institut Rexecode, la désindustrialisation aurait été responsable de 18 % de la baisse observée des émissions de l'industrie manufacturière sur la période 1973-2023. Source : Trotignon, R. (2024) « [La réindustrialisation de la France serait favorable à la décarbonation mondiale](#) », Rexecode Repères #12

³³⁹ Bourgeois, Alexandre & Montornes, Jérémie (2023) « [Produire en France plutôt qu'à l'étranger, quelles conséquences ?](#) », Insee analyses

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

L'atteinte de la neutralité carbone nécessite de recourir à des leviers variés, aux coûts d'abattement hétérogènes et évolutifs. Le projet de SNBC 3 repose sur cinq grands leviers pour la transition de l'industrie : substitution d'énergies bas-carbone aux énergies fossiles (électricité, biogaz, biomasse), décarbonation des procédés de production (capture et stockage de carbone, utilisation d'hydrogène décarboné, abattement de gaz fluorés ou de protoxyde d'azote), efficacité énergétique, modification des intrants dans l'industrie (dont augmentation du recyclage), et sobriété (e.g. moindre consommation de plastique). Le prix du carbone, via le marché du carbone européen (EU ETS), incite les industriels à recourir à certains leviers technologiques de décarbonation en fonction de leurs coûts d'abattement. Sur la période 2005-2019, le prix du quota carbone était inférieur à 30 €/tCO₂éq³⁴⁰. Par exemple, pour la filière chimie, un tel prix aurait été suffisamment incitatif pour déclencher les investissements aux coûts d'abattement les plus faibles : efficacité énergétique et abattement des émissions de protoxyde d'azote (cf. Graphique 2). À l'inverse, il est inférieur aux coûts d'abattement actuels de leviers technologiques tels que l'électrification ou la capture et le stockage du carbone (cf. Graphique 2). Ces derniers sont pourtant nécessaires à la décarbonation totale du secteur. L'atteinte de la neutralité carbone pour le secteur de l'industrie nécessitera donc de recourir à des leviers technologiques de décarbonation actuellement plus coûteux. Cette évolution est cohérente avec les dernières évolutions du prix du quota carbone sur le marché européen, qui a fortement crû depuis 2020, et a même brièvement dépassé 100 €/tCO₂ en février 2023³⁴¹. L'innovation technologique pourrait néanmoins faire baisser le coût de certaines technologies de décarbonation (cf. Section 8.3).

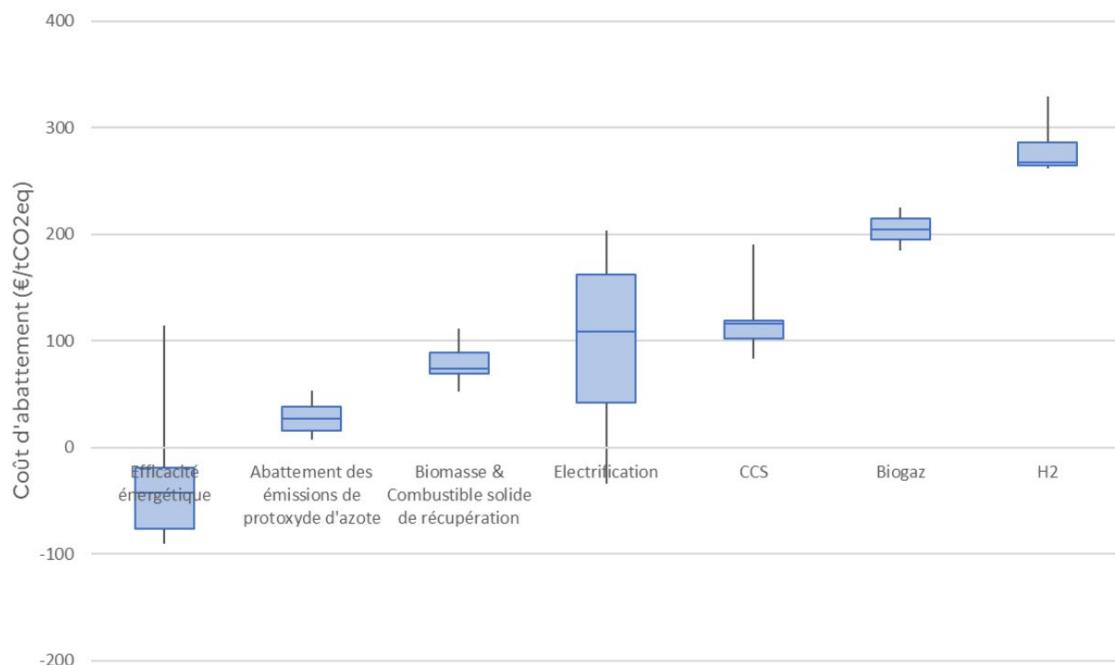
Le recours à ces leviers nécessite des dépenses supplémentaires qui pourraient atteindre jusqu'à 5 Md€ par an d'ici 2030 par rapport à 2021 pour décarboner la production existante. Sur la base d'un scénario à production inchangée (production au niveau de 2023), les besoins bruts en investissements bas-carbone sont estimés au plus à +4 Md€/an en CAPEX d'ici 2030³⁴². Ils sont complétés par des surcoûts de dépenses d'exploitation de +1,7 Md€/an desquels se retrancheraient -1,1 Md€/an de gains énergétiques. Ces chiffres restent très incertains, et la tendance d'investissements bas-carbone déjà engagée reste complexe à identifier au regard de la difficulté à isoler les investissements favorables à la décarbonation dans le secteur.

³⁴⁰ [Trading Economics](#)

³⁴¹ Source : [Trading Economics](#)

³⁴² Gourmand, L. (2024) « [Quel besoins d'investissements pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ?](#) », Documents de Travail de la DG Trésor n° 2024/2

GRAPHIQUE 2
Quelques coûts d'abattement privés d'actions de décarbonation
des 50 sites les plus émetteurs (filière chimie)



Source : Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État, 2023, p. 215.

Note de lecture : Parmi les projets de la filière chimie figurant dans les feuilles de route de décarbonation des 50 sites industriels les plus émetteurs, on constate que les coûts d'abattement privés sont en moyenne plus ou moins élevés selon les types de projets (axe vertical, médiane en trait bleu), et plus ou moins dispersés (les boîtes contiennent les deuxièmes et troisièmes quartiles).

Observations : Si l'ordre des coûts d'abattement moyens permet de classer les leviers selon leur efficience, plusieurs limites invitent à ne pas considérer le seul coût d'abattement pour leur priorisation dans la planification (cf. Section 1.3.2) : (i) même au sein d'une même catégorie de levier, les potentiels d'abattement peuvent fortement varier, et (ii) les potentiels d'abattement totaux les plus forts ne sont généralement pas associés aux leviers dont les coûts d'abattement sont les plus faibles, malgré l'importance de la décarbonation profonde pour l'atteinte des objectifs de long terme ; (iii) le niveau de maturité technologique et la capacité de déploiement à l'échelle des différents leviers doivent également être pris en compte pour définir une stratégie réaliste.

8.1.2 Donner un prix au carbone permet de réduire les émissions de l'industrie à moindre coût à condition de l'accompagner d'instruments complémentaires

Le prix du carbone, via le marché du carbone européen (EU ETS), est un instrument puissant économiquement pour décarboner l'industrie. Donner un prix au carbone est une réponse en théorie optimale pour réduire les émissions de GES en l'absence d'autres externalités (cf. Section 1.3.1). C'est pourquoi l'Union européenne (UE) a mis en place dès 2005 une politique de tarification carbone via son système d'échange de quotas d'émission EU ETS. L'étude de la littérature sur les effets passés de l'EU ETS dans l'industrie, dans un contexte de prix du carbone bas et d'abondance de quotas gratuits pour l'industrie, montre un effet causal sur la baisse des émissions de GES³⁴³. En outre, elle ne montre pas, sur cette période passée et en moyenne, d'effets économiques négatifs sur les firmes couvertes par l'EU ETS lui étant directement

³⁴³ D'après Barrows et al. (2023), [Estimating the Effects of Regulation When Treated and Control Firms Compete: A New Method with Application to the EU Ets](#), repris dans une [note récente du Conseil d'analyse économique](#) (2023), la mise en place de l'EU ETS a réduit les émissions de GES de l'industrie manufacturière française de 3 à 14 % selon les années (entre 2005 et 2015). De même, Dechezleprêtre et al. (2023), [The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance](#) estiment sur données d'entreprises de 4 pays européens, dont la France, que l'EU ETS a causé une baisse de 18 % des émissions de GES du secteur européen de la chimie entre 2005 et 2012. Enfin, d'après Comer J. et al. (2024), [Does Pricing Carbon Mitigate Climate Change? Firm-Level Evidence from the European Union Emissions Trading System](#), l'EU ETS a permis aux entreprises concernées de réduire leurs émissions de 14 % entre 2005 et 2007 puis de 16 % entre 2008 et 2012, en moyenne et relativement aux entreprises françaises non soumises à l'ETS.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

attribuables^{344,345}. Dans l'ensemble, en 2023, la plupart des émissions industrielles sont couvertes par un prix du carbone (notamment l'accise sur les énergies et l'EU ETS), et la tarification effective atteint désormais en moyenne 76 €/tCO₂éq pour le secteur de l'industrie³⁴⁶.

Les hausses récentes et anticipées du prix du carbone génèrent toutefois des risques de fuites de carbone non négligeables via le canal de la compétitivité (cf. Encadré 1), auxquels le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) apporte une réponse. En effet, si les industriels européens font face à un prix du carbone supérieur aux producteurs situés dans les pays tiers, cela peut conduire à une réorganisation des chaînes de valeur mondiales, avec un déplacement de la production et des émissions européennes vers des territoires moins contraints. En l'absence d'un prix international unique du carbone, la mise en place du MACF doit permettre de réduire efficacement le risque de fuite de carbone³⁴⁷. Il doit toutefois être complété, notamment pour prévenir les risques de fuites de carbone à l'export et à l'aval, et les potentiels risques de contournement (cf. Chapitre 3).

ENCADRÉ 1

Les différents canaux de fuite de carbone, d'après le GIEC³⁴⁸

Une politique de réduction des émissions de GES sur un territoire donné peut affecter les émissions à l'étranger via plusieurs canaux, et sur différentes échelles de temps : on parle de fuites de carbone (positives ou négatives). Les effets peuvent interagir et entraîner une augmentation ou une diminution nette des émissions mondiales.

- **Compétitivité** : la politique d'atténuation augmente les coûts et les prix des produits des unités de production réglementées, ce qui entraîne un déplacement de la production (via des pertes de part de marché et/ou délocalisations) vers les unités de production non réglementées, augmentant ainsi leurs émissions.
- **Canal des prix des énergies fossiles** : la demande en combustibles fossiles diminue sur la juridiction réglementée, ce qui fait baisser les prix des combustibles fossiles et augmente la consommation et les émissions associées provenant des juridictions non réglementées.
- **Effet sur les termes de l'échange** : les hausses de prix des produits provenant d'unités de production réglementées déplacent la consommation vers d'autres biens, ce qui augmente les émissions en raison de la production plus élevée de ces biens.
- **Canal technologique** : la politique d'atténuation induit de l'innovation bas-carbone, ce qui réduit les émissions des entités qui adoptent les innovations (fuites négatives). Ces entités peuvent ne pas être soumises à la politique d'atténuation.
- **Effet de réduction sur les ressources** : les unités de production réglementées augmentent l'utilisation d'intrants propres, ce qui réduit les intrants disponibles pour les sources non réglementées et limite ainsi leur production et leurs émissions.
- **Canal d'échelle** : les changements dans le niveau de production des entités réglementées et non réglementées affectent leurs intensités d'émission, de sorte que les changements d'émissions ne sont pas proportionnels aux changements de production.
- **Canal intertemporel** : les stocks de capital associés à toutes les sources d'émissions sont initialement fixes mais changent au fil du temps, affectant les coûts, les prix, la production et les émissions des produits réglementés et non réglementés.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

D'autres limites à la tarification carbone subsistent et justifient le recours à des instruments complémentaires au prix du carbone pour réduire les émissions de l'industrie. Ces limites incluent : l'existence de contraintes de financement des investissements de décarbonation, la dépendance au sentier³⁴⁹, et l'horizon de rentabilité limité des dirigeants d'entreprise³⁵⁰ (cf. section *infra* pour un focus sur les limites spécifiques à l'innovation bas-carbone). Les instruments subventionnels, extra-financiers et réglementaires aident à répondre à ces limites.

- Les dispositifs subventionnels permettent aux acteurs économiques d'internaliser les externalités positives de la R&D quand ils ciblent l'innovation, et sont également susceptibles de limiter les fuites de carbone en dehors de l'UE quand ils ciblent les entreprises exposées au commerce international.
 - France 2030 est le principal outil national de soutien à l'innovation directement ciblé vers les technologies de décarbonation de l'économie (cf. section 8.3).
 - L'État a signé en novembre 2023 des contrats de transition écologique avec les 50 sites industriels les plus émetteurs, représentant environ 55 % des émissions directes de l'industrie. Ces contrats engagent les entreprises à mettre en œuvre leurs meilleurs efforts pour réaliser des investissements ambitieux dans la décarbonation de leurs activités, avec l'objectif de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 45 % d'ici 2030 (par rapport à 2015). De son côté, l'État s'engage à soutenir ces efforts par des subventions basées sur une évaluation des besoins totaux en capital et en coût d'exploitation.
 - France 2030 comporte en particulier une enveloppe de 4 Md€ pour soutenir les industriels dans le déploiement de solutions de décarbonation. Ces aides, opérées par l'ADEME, comprennent notamment l'appel d'offre « Grands projets industriels de décarbonation » visant à soutenir les projets de décarbonation au coût supérieur à 20 M€ des sites soumis à l'EU ETS³⁵¹.
- La notation extra-financière ou le reporting vert (e.g. CSRD³⁵²) visent à améliorer l'information disponible pour les parties prenantes (cf. Chapitre 5).
- Les dispositifs existants de prêts/garanties (e.g. le Prêt Industrie Verte de Bpifrance) visent à répondre aux contraintes de financement que peuvent rencontrer les projets bas-carbone (cf. Chapitre 5).

³⁴⁴ Les effets sur les profits, l'investissement, la valeur ajoutée et l'emploi sont cependant hétérogènes et dépendent notamment de la structure de marché du sous-secteur industriel considéré.

³⁴⁵ [Colmer et al. \(2024\)](#) aboutissent ainsi à une absence d'effet significatif de l'EU ETS sur la valeur ajoutée et l'emploi des entreprises industrielles, relativement à d'autres entreprises françaises non couvertes par le dispositif.

³⁴⁶ Au format SECTEN, donc qui inclut la construction. Source : Commissariat général au développement durable (décembre 2024) [Une tarification des émissions de gaz à effet de serre inégale selon les secteurs](#), Théma Essentiel

³⁴⁷ L'Heudé, William et al. (mars 2021) « [Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne](#) », Trésor éco N°280.

³⁴⁸ IPCC, 2022: [Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change](#). Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 1393)

³⁴⁹ La dépendance au sentier désigne le fait qu'un système économique, en raison de ses investissements passés et de ses structures existantes, a du mal à s'orienter vers de nouvelles voies, telles que celles plus durables de l'économie bas-carbone.

³⁵⁰ L'efficacité du signal prix-carbone suppose de pouvoir effectuer un calcul coût-bénéfice à long-terme concernant les investissements de décarbonation des entreprises qui n'est pas toujours réalisable. Une raison est la myopie des dirigeants d'entreprises, qui peut amener à un manque de considération pour la rentabilité de l'investissement de décarbonation à long-terme du fait d'effets limités des émissions sur les résultats financiers de court-terme. Cf. par exemple : Shive, S. A., & Forster, M. M. (2020), "Corporate governance and pollution externalities of public and private firms", The Review of Financial Studies, 33(3), 1296-1330.

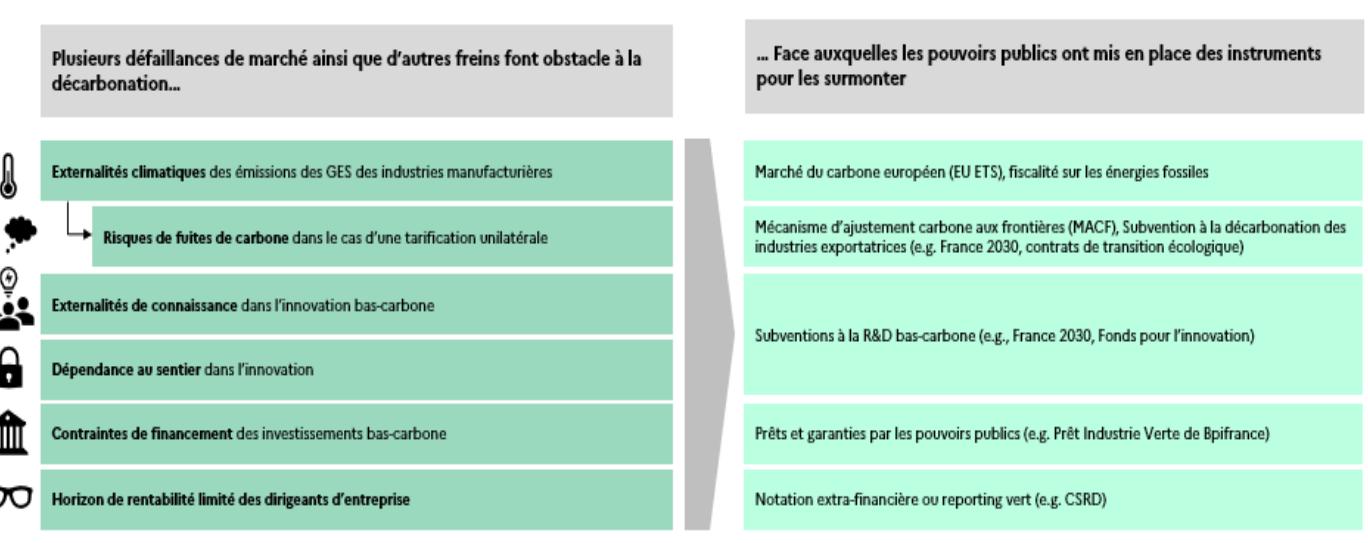
³⁵¹ [France 2030 : Lancement d'un dispositif d'aide majeur pour soutenir les très grands projets industriels la décarbonation](#)

³⁵² La CSRD, ou Corporate Sustainability Reporting Directive, est une directive européenne qui impose aux grandes entreprises de publier des informations détaillées sur leur impact environnemental, social et de gouvernance (ESG), afin d'améliorer la transparence et d'orienter les investissements vers des activités durables.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

La stratégie pluriannuelle de financement de la transition écologique (SPAFTE 2024) et la plateforme Mission Transition Ecologique³⁵³ recensent les aides et dispositifs de financement disponibles pour la transition écologique.

GRAPHIQUE 3
Principales défaillances de marché faisant obstacle à la décarbonation de l'industrie et instruments déployés pour y faire face



Source : DG Trésor.

ENCADRÉ 2

Le soutien à la décarbonation de l'industrie à l'étranger

L'étude des soutiens publics à la décarbonation en Suède, en Allemagne et aux Pays-Bas fournit des enseignements utiles dans la conception des instruments complémentaires à la tarification du carbone en matière de décarbonation de l'industrie^{354, 355, 356}. Plusieurs pays ont renforcé leur tarification carbone domestique, y compris sur les émissions industrielles (Norvège, Danemark, Suède notamment). En parallèle, des mesures d'accompagnement ciblées ont été mises en place, telles que (i) des subventions à des solutions de décarbonation (Suède, Finlande, Danemark notamment) ; (ii) la mise en place de *Carbon Contracts for Difference* (Allemagne) ; (iii) des soutiens à la capture et au stockage de carbone (Norvège, Danemark notamment). Il ressort de cette analyse trois enseignements :

- Une mise en concurrence des acteurs et un conditionnement des versements à certaines variables observables pourraient permettre de limiter les asymétries d'informations et le risque de surcompensation des acteurs industriels.
- Le ciblage partiel de technologies moins matures permettrait d'éviter une nouvelle dépendance de sentier. Le risque de nouvelle dépendance de sentier apparaît en effet quand les soutiens favorisent des technologies déjà bien établies, par rapport à une

³⁵³ <https://mission-transition-ecologique.beta.gouv.fr/>

³⁵⁴ DG Trésor (2024), « [La tarification du carbone dans les pays nordiques](#) », Trésor-Éco n° 346.

³⁵⁵ Par exemple, le dispositif néerlandais SDE++ (Sustainable Energy Production and Climate Transition Incentive Scheme), a fait l'objet d'une étude de l'OCDE : Anderson, B. et al. (2021), "[Policies for a climate-neutral industry: Lessons from the Netherlands](#)", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 108, OECD Publishing, Paris

³⁵⁶ Pour une analyse plus générale des enjeux de la conception d'une politique industrielle verte, cf. : OECD (2024), "[Green industrial policies for the net-zero transition](#)", OECD Net Zero+ Policy Papers, No. 2, OECD Publishing, Paris.

- alternative moins mature ou plus coûteuse, mais associée à un potentiel d'abattement plus large à long terme.
- Des dispositifs spécifiques aux PME ont permis d'éviter la concentration des aides sur un nombre réduit d'acteurs et de mieux s'adapter à leurs contraintes.

8.1.3 Avec la transition, les déterminants de la compétitivité de l'industrie sont amenés à évoluer, en particulier pour les industries énergo-intensives

Dans une économie bas-carbone, la disponibilité d'électricité bas-carbone, d'hydrogène bas-carbone, et la faculté d'innovation verte seront des facteurs importants de la compétitivité internationale – en sus des facteurs de compétitivité transversaux tels que les coûts du capital, du travail, la disponibilité de main d'œuvre qualifiée, d'infrastructures, etc. La faculté d'innovation verte pourrait a priori s'inscrire en poursuite des produits sur lesquels les économies sont déjà spécialisées, au moins pour les innovations incrémentales.

À terme, la question de l'évolution de la compétitivité des industries énergo-intensives³⁵⁷ en Europe se pose. En effet, l'écart actuel (avec énergies fossiles) de prix de l'énergie entre continents pourrait ne pas se résorber sur le long terme (dans une économie mondiale sans énergie fossile, les prix de l'électricité pourraient rester plus élevés en Europe que sur d'autres continents – cf. Chapitre 9)³⁵⁸, alors qu'il constitue l'un des principaux déterminants de la compétitivité internationale de ces industries. La décarbonation génère par ailleurs un besoin d'investissement massif ainsi qu'un choc de coût de production pour ces industries, au moins à moyen terme, dans un contexte de forte incertitude technologique, réglementaire et financière. La rentabilité dégradée du secteur et l'incertitude liée à ces investissements peuvent ainsi limiter leur capacité à trouver des financements³⁵⁹.

Cependant, la décarbonation est également une condition nécessaire à la compétitivité des industries énergo-intensives en Europe. Ces industries sont d'abord soumises à la réduction du plafond d'émissions du marché du carbone européen (EU ETS), qui va rendre les activités carbonées de moins en moins compétitives par rapport à leurs alternatives bas-carbone. La décarbonation peut également permettre de réduire la dépendance aux importations d'énergies fossiles, et renforcer la résilience aux chocs³⁶⁰.

8.2 La transition impliquera une réorganisation des chaînes de valeur mondiale des filières brunes vers les vertes

8.2.1 L'intensité carbone de l'industrie française est meilleure en moyenne que celle du reste du monde, notamment grâce à son électricité bas-carbone

En agrégé, l'intensité carbone hors électricité de l'industrie manufacturière française apparaît légèrement meilleure que la moyenne européenne mais affiche de fortes disparités sectorielles. La France est ainsi à la frontière européenne en matière d'émissions directes dans certains secteurs relativement peu émissifs (les industries agro-alimentaires ou la réparation et installation

³⁵⁷ Industrie du papier et du carton, industrie chimique, fabrication d'autres produits minéraux non métalliques, métallurgie. Ces secteurs représentent 16 000 entreprises et 430 000 équivalents temps plein, pour 4 % de la valeur ajoutée des entreprises françaises. À un niveau fin, certains sous-secteurs peuvent ne pas être électro-intensifs.

³⁵⁸ Cf. par exemple le rapport Draghi (2024), « [The future of European competitiveness](#) », European Commission et les projections de coût de génération électrique par grande zone géographique de AIE (2023), « [World Energy Outlook 2023](#) », pp.301-303.

³⁵⁹ BCE (2024), « [Obstacles to the greening of energy-intensive industries](#) », Billet de Blog.

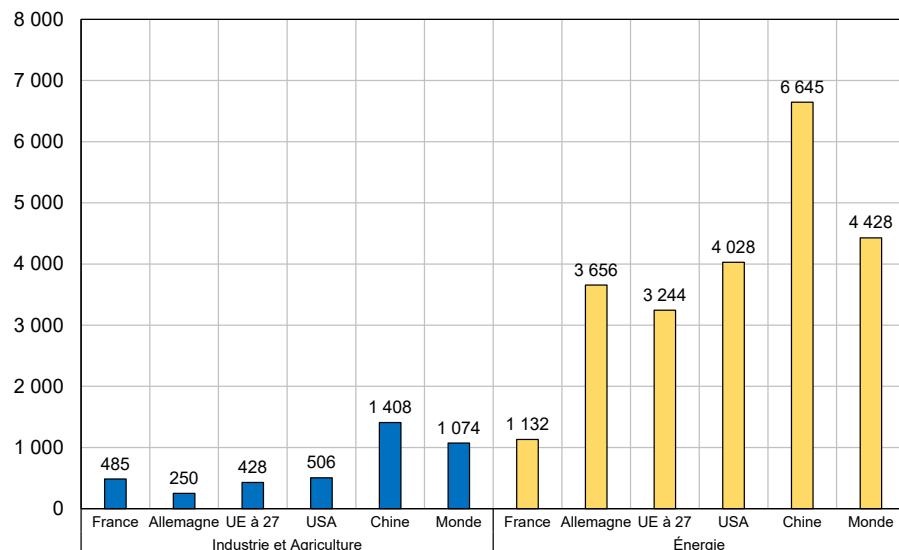
³⁶⁰ Dolphin, G., Duval, M. R. A., Duval, R., Rojas-Romagosa, H., et Sher, G. (2024). [The energy security gains from strengthening Europe's climate action](#). International Monetary Fund.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

de machines et équipement), mais en est facialement éloignée dans d'autres secteurs (comme l'industrie du papier-carton, l'industrie automobile ou la métallurgie, particulièrement émissive). Cet écart vient toutefois en partie de différences comptables dans la mesure de la valeur ajoutée entre pays européens³⁶¹.

De plus, l'intensité carbone totale de la valeur ajoutée manufacturière de la France bénéficie de son électricité bas-carbone. En 2023, la France avait l'une des plus faibles intensités carbone de l'UE pour la production et la distribution d'énergie (cf. Graphique 4)³⁶². En comparaison avec la moyenne européenne et le reste du monde, l'intensité carbone de l'industrie française (filières amont comprises, i.e. en tenant compte de l'intensité carbone de l'électricité) est au total significativement plus faible. À titre illustratif, un milliard d'euros de valeur ajoutée dans l'industrie manufacturière émettrait 530 ktCO₂éq si produite en France contre 1270 ktCO₂éq en moyenne dans le reste du monde³⁶³.

GRAPHIQUE 4
Comparaison de l'intensité carbone des productions européennes et du reste du monde (en tCO₂éq par million d'euros de valeur ajoutée)



Source : [Insee Analyses n°89 \(2023\)](#), base [TIES](#) de l'OCDE, données d'émissions d'[Exiobase 3](#) et de [l'OCDE](#).

Note de lecture : la production américaine dans les branches de l'industrie et de l'agriculture, hors filières amont dont énergie, émet l'équivalent de 506 tonnes de CO₂éq pour chaque million d'euros de valeur ajoutée.

8.2.2 La transition est source de risques mais aussi d'opportunités pour les exportations avec l'émergence de nouveaux marchés de biens bas-carbone

Le niveau d'exposition des exportations françaises aux risques de transition est intermédiaire, la France se situant sur cet aspect dans une situation comparable à l'Allemagne. L'exposition au risque de transition est mesurée par la part des activités pouvant être impactées négativement par la transition climatique, via une limitation de leur activité ou un besoin important de transformation pour la décarbonation (cf. Encadré 3). Selon cette mesure, la France est dans une situation intermédiaire entre d'un côté, les États-Unis et le Royaume-Uni dont les exportations sont en moyenne plus exposées à ce risque (e.g. produits issus de la cokéfaction) et des pays

³⁶¹ Ces différences comptables conduiraient à surestimer de 6 % la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière européenne (hors France) en y intégrant la valeur ajoutée de certaines prestations de service. Les activités de service étant en général moins émettrices que les activités industrielles, cela peut conduire à sous-estimer l'intensité carbone des industries européennes hors France. Cf. Popolek, N. & Larrieu, S. (2024) « [L'industrie est-elle plus carbonée en France qu'en Allemagne ?](#) », La Note d'analyse de France Stratégie.

³⁶² Agence européenne de l'environnement (2024) « [Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe](#) ». Dans l'UE, seules la Suède et la Finlande ont une électricité moins carbonée.

³⁶³ Bourgeois, Alexandre & Montornès, Jérémie (2023) « [Produire en France plutôt qu'à l'étranger, quelles conséquences ?](#) », Insee analyses

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

comme la Chine, l'Inde ou l'Italie dont les exportations sont moins exposées (e.g. équipements électroniques ou industrie du cuir et de la chaussure). Ce positionnement intermédiaire des exportations industrielles françaises est comparable à celui de l'Allemagne, du Japon et de la Corée. Il résulte d'exportations françaises à la fois spécialisées dans des produits peu exposés au risque de transition bas-carbone (comme les boissons ou les produits en cuir) mais également dans des produits plus exposés (tels que les produits chimiques ou les véhicules thermiques ; cf. Encadré 4 et Graphique 6).

ENCADRÉ 3

Indicateur de risque de transition

Le coefficient d'exposition au risque de transition (en anglais *Transition risk exposure coefficient* ou TEC) créé par le Centre commun de recherche (en anglais, *Joint Research Centre* ou JRC)³⁶⁴ approxime pour chaque secteur économique de l'Union Européenne³⁶⁵ la part des activités exposées à un haut niveau de risque lié à la transition vers la neutralité carbone, qu'il s'agisse de la limitation anticipée de leur activité (e.g. énergies fossiles) ou parce que la transition demandera des efforts importants de décarbonation et une transformation de l'activité (e.g. industrie automobile). Cet indicateur ne préjuge toutefois pas du coût d'abattement associé à la décarbonation du secteur : un secteur peut ainsi être plus émissif qu'un autre mais être marginalement moins coûteux à décarboner. L'indicateur ne tient pas compte des facteurs de risques liés à la transition écologique hors climat, comme la biodiversité, ou l'usage en eau. Il ne tient pas compte non plus des effets d'adaptation qui peuvent pénaliser fortement certaines productions, agricoles par exemple.

Le coefficient d'exposition au risque de transition va de 0 (absence de risque) à 1 (risque maximal). Sur la base de la taxonomie européenne, l'indicateur considère que pour les secteurs NACE³⁶⁶ liés aux carburants fossiles l'ensemble des activités sont exposées, et leur attribue un coefficient de 1 ; alors que pour les secteurs énergo-intensifs une valeur de 0,5 est attribuée. Pour les autres secteurs, d'autres sources sont mobilisées pour justifier l'attribution des coefficients. Cette mesure reste fondée sur des « dires d'experts » et reflète les choix des auteurs. Le Graphique 5 ci-dessous présente le niveau de risque par secteur de niveau 2³⁶⁷.

Dans le Tableau 1, une version agrégée de cet indicateur pour l'ensemble de l'industrie manufacturière de chaque pays est présentée :

$$TEC_i^{Ind} = \sum_s TEC_s \frac{EX_{is2022}}{EX_{i2022}^{Ind}}$$

où TEC_s est l'indicateur de transition du secteur s au niveau le plus fin possible. Il est sommé sur l'ensemble des secteurs et pondéré par le rapport entre EX_{is2022} les exportations du pays i dans les produits du secteur s en 2022 et EX_{i2022}^{Ind} les exportations totales de l'industrie pour le même couple pays-année.

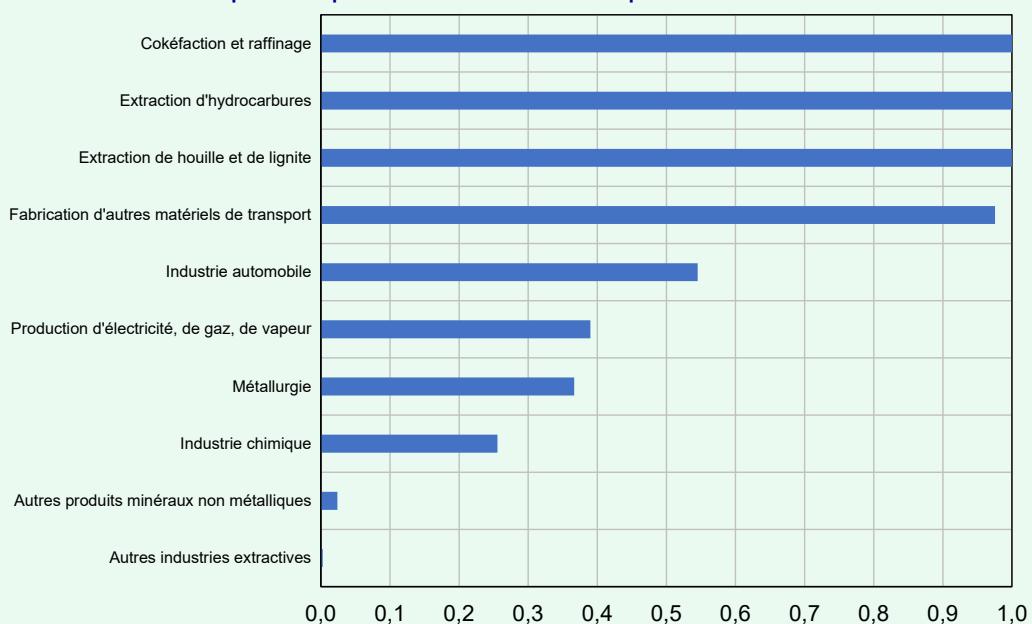
³⁶⁴ Pour la méthode de conception du TEC, cf. Alessi, L. and Battiston, S., 2022. [Two sides of the same coin: Green Taxonomy alignment versus transition risk in financial portfolios](#), International Review of Financial Analysis, p.102-319

³⁶⁵ Le TEC est construit en utilisant les quatre positions de la classification européenne des secteurs NACE Rev2.

³⁶⁶ La NACE est la Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne, un système de classification des activités économiques recensant 615 codes à quatre positions.

³⁶⁷ Secteurs identifiés par deux chiffres dans la classification NACE.

GRAPHIQUE 5
Indicateur de risque d'exposition à la transition par secteur en France en 2022



Sources : JRC, BACI, calculs DG Trésor.

Note : seuls les secteurs NACE de niveau 2 (2 chiffres) pour lesquels le risque d'exposition est considéré comme significatif au sens de l'indicateur JRC (>0) sont affichés. Sont ainsi exclus du graphique l'agro-alimentaire, l'industrie du vêtement, du bois, la pharmacie, la fabrication de machines et équipements, d'électronique et de produits divers ainsi que la collecte et la distribution d'eau et le recyclage.

TABLEAU 1
Indicateur de risque de transition du JRC des exportations industrielles pour une sélection de pays

Pays	Indice TEC
Chine	0,08
Italie	0,13
Inde	0,14
Allemagne	0,20
Japon	0,21
Corée du Sud	0,21
France	0,24
Royaume-Uni	0,30
États-Unis	0,31

Sources : BACI, JRC, calculs DG Trésor.

ENCADRÉ 4

L'avantage comparatif révélé (ACR)

L'avantage comparatif révélé (ACR) est un indice utilisé en économie internationale pour calculer l'avantage ou le désavantage relatif d'un pays donné dans une certaine catégorie de biens ou de services, tel qu'il ressort des flux commerciaux. Il est basé sur le concept d'avantage comparatif ricardien et a été introduit par l'économiste Béla Balassa en 1965³⁶⁸. Il correspond à la part des exportations d'un produit j par rapport à l'ensemble des exportations d'un pays donné divisée par la part des exportations de ce produit dans le total des exportations d'une zone de référence (par exemple le monde) :

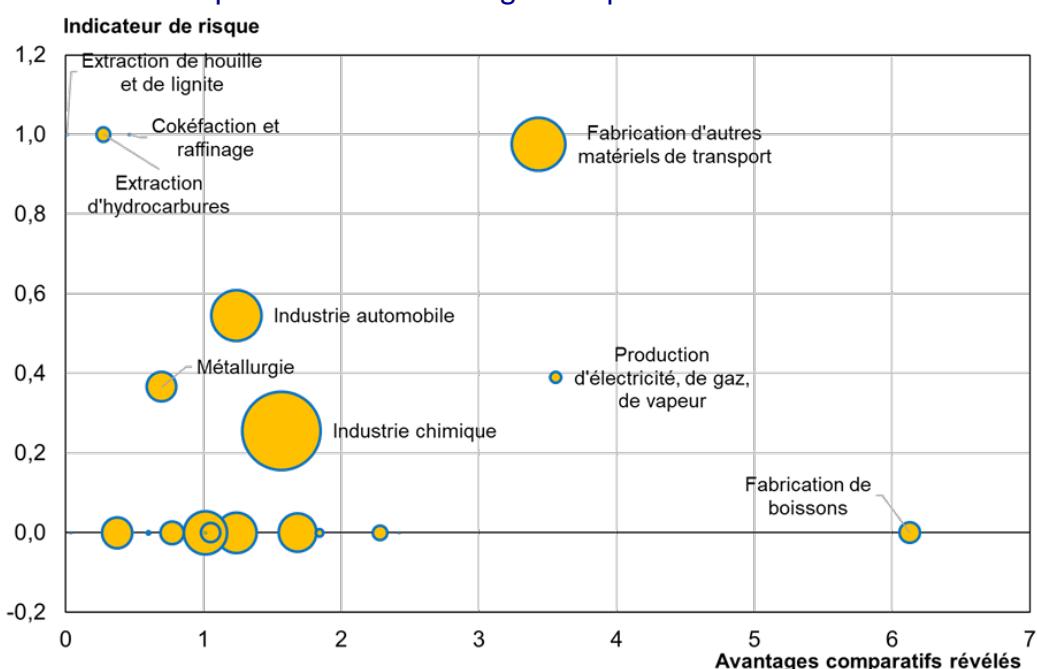
$$ACR = \frac{\frac{E_{ij}}{E_{it}}}{\frac{E_{nj}}{E_{nt}}}$$

où E représente les exportations, i un pays exportateur, j un produit, n l'ensemble des pays et t l'ensemble des produits.

Un avantage comparatif supérieur à 1 traduit une spécialisation du pays dans un produit à l'export. On dit ainsi qu'un avantage comparatif est « révélé » si l'ACR est supérieur à 1. Si l'ACR est inférieur à 1, on dit que le pays a un désavantage comparatif dans le produit ou le secteur concerné.

GRAPHIQUE 6

Indicateur de risque sectoriel et avantages comparatifs révélés en France en 2022



Sources : BACI (Cepii), calculs DG Trésor.

Note : la taille des bulles correspond à la part du secteur dans les exports.

³⁶⁸ Balassa, B. (1965). "Trade liberalisation and "revealed" comparative advantage." The Manchester school, 33(2), 99-123.

Le commerce mondial de produits bas-carbone est en croissance ces dernières années. Il a ainsi atteint 2 200 Md\$ en 2023, contre 1 700 Md\$ cinq ans plus tôt, soit une hausse de 29 % sur la période³⁶⁹. Les exportations de produits bas-carbone représentaient 4,8 % du total mondial d'exportations en 2023. En France, les exportations et les importations françaises de biens bas-carbone représentent respectivement 1,0 % et 1,6 % du PIB en 2023.

La France dispose d'avantages comparatifs révélés (ACR ; cf. Encadré 4) sur l'exportation de certains biens bas-carbone, sans toutefois bénéficier d'une spécialisation globale sur l'ensemble des biens bas-carbone. La France est par exemple spécialisée dans les instruments de régulation thermique (ACR de 1,4 en 2022³⁷⁰). Toutefois, si l'on considère l'ensemble des biens bas-carbone, la France ne dispose pas d'avantage comparatif révélé (son ACR était de 0,95 en 2022 et 2023), à la différence de l'Allemagne (ACR de 2,3 en 2023) ou du Royaume-Uni (ACR de 1,8 en 2023)³⁷¹.

8.2.3 La transition pose de nouveaux enjeux pour la sécurisation des approvisionnements avec un risque de concentration en Chine

La transition énergétique pose des enjeux de sécurisation des approvisionnements, avec la problématique de l'accès aux minéraux critiques et la concentration aujourd'hui de certaines filières vertes en Chine. La transition énergétique devrait s'appuyer sur des technologies faisant un usage intense de certains minéraux, dits « critiques » ou « stratégiques » comme le lithium, le graphite, le nickel, le manganèse, le silicium, les terres rares et le cuivre. À court terme, l'offre mondiale en minéraux stratégiques apparaît suffisante pour répondre aux nouveaux usages liés à la transition énergétique³⁷². La production reste néanmoins aujourd'hui très concentrée sur le plan géographique. L'extraction des principaux minéraux stratégiques est partagée entre quelques États, et la Chine domine actuellement le raffinage et la transformation de la majeure partie d'entre eux (cf. Graphique 7). En outre, d'ici 2050, la demande mondiale pourrait plus que tripler pour répondre aux objectifs environnementaux internationaux et nationaux. Pour certains minéraux (lithium, graphite, cobalt), cette hausse conduirait à une demande largement supérieure au niveau de production actuel. Malgré la volonté de nombreux États producteurs de valoriser leurs minéraux, des pénuries temporaires ne peuvent pas être exclues.

Diversifier les sources d'approvisionnement est un levier économiquement efficace pour répondre aux vulnérabilités identifiées sur les chaînes de valeur des biens bas-carbone. En effet, l'identification de ces vulnérabilités ne doit pas faire perdre de vue les avantages que présente la possibilité de s'approvisionner depuis l'étranger, tant sur le plan de l'efficacité économique que de la sécurité d'approvisionnement, y compris en temps de crise³⁷³. Afin de concilier résilience et prospérité économique, trois axes peuvent être privilégiés^{374,375} : encourager la diversification des approvisionnements ou des alliances stratégiques lorsque d'autres partenaires commerciaux peuvent être mobilisés, notamment au niveau européen ; faciliter ou subventionner le stockage et le recyclage ; pour les intrants vulnérables à la frontière technologique, favoriser l'innovation pour produire sur le territoire national de manière compétitive³⁷⁶. En France, la stratégie de sécurisation des métaux critiques et stratégiques est menée par la Délégation interministérielle

³⁶⁹ IMF, "[Trade in Low Carbon Technology Products](#)" [consulté le 9 décembre 2024]

³⁷⁰ L'intitulé entier de la classe de produits est « Instruments et appareils pour la régulation ou le contrôle automatiques, notamment thermostats ». Sources : BACI, calculs DG Trésor

³⁷¹ IMF, "[Trade in Low Carbon Technology Products](#)" [consulté le 9 décembre 2024]

³⁷² Aubert, Alban et al. (2024) « [Les Minéraux dans la transition énergétique](#) », Trésor-éco n°351.

³⁷³ Bonneau, C. & Nakaa, M. (2020) « [Vulnérabilité des approvisionnements français et européens](#) », Trésor éco n°274.

³⁷⁴ Bonneau, C. & Nakaa, M. (2020), op. cit.

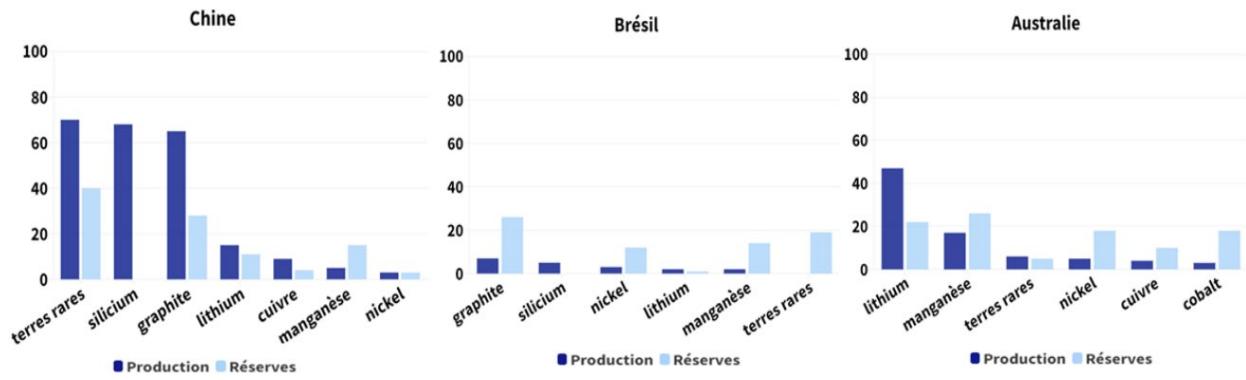
³⁷⁵ Jaravel, X., & Méjean, I. (2021). « [Quelle stratégie de résilience dans la mondialisation ?](#) » Notes du conseil d'analyse économique, #64

³⁷⁶ L'enjeu est d'identifier des secteurs qui contribuent à réduire les vulnérabilités et pour lesquels il est crédible pour la France de se maintenir ou se hisser à la frontière technologique, de sorte à pouvoir produire de manière compétitive. Cf. Jaravel, X., & Méjean, I. (2021), op. cit. (p. 9)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

aux approvisionnements en minerais et métaux stratégiques (DIAMMS). Au niveau européen, elle est structurée par le règlement du 11 avril 2024 dit « CRM Act »³⁷⁷

GRAPHIQUE 7
Part dans la production minière et dans les réserves mondiales de minerais stratégiques de la Chine, du Brésil et de l'Australie (en %)



Source : Aubert, Alban et al. (2024) « Les Minerais dans la transition énergétique », Trésor-éco n°351, à partir de données USGS.

Note de lecture : La décomposition géographique des réserves de silicium n'est pas évaluée par le USGS (le silicium est présent de manière particulièrement abondante et, dans la plupart des pays, suffisant pour satisfaire les besoins mondiaux pour plusieurs décennies).

8.3 L'innovation bas-carbone est un facteur clé pour la réussite économique de la transition

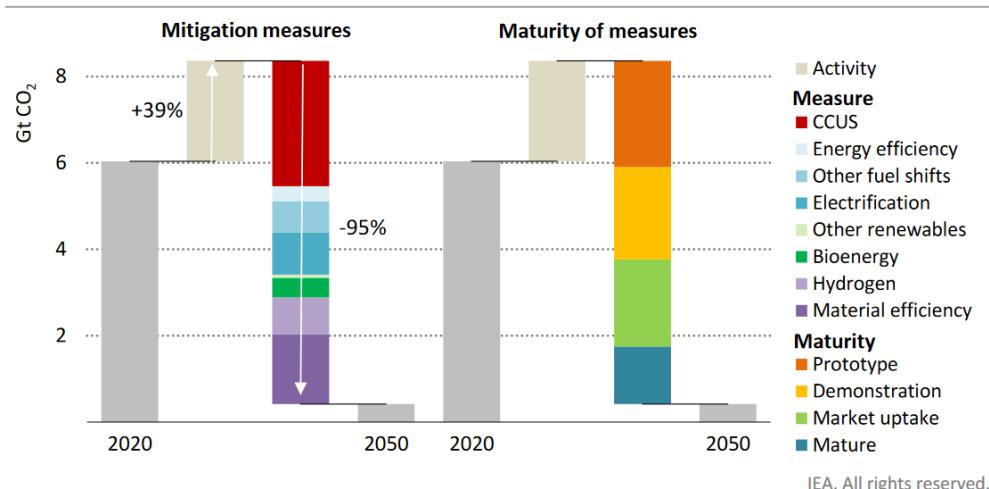
8.3.1 L'innovation bas-carbone, essentielle à la réussite de la transition, est en croissance

Une transition à moindre coût pour l'économie mondiale et nationale nécessite des efforts additionnels d'innovation incrémentale et de rupture (cf. Graphique 8). L'innovation bas-carbone couvre le développement de technologies utilisées pour décarboner les filières industrielles existantes (e.g., capture et stockage du carbone, réduction directe de l'acier) et de technologies donnant lieu à de nouvelles filières industrielles permettant la transition vers la neutralité carbone (e.g., électrolyseurs pour la production d'hydrogène, technologies de batteries pour la décarbonation des transports). Le développement et l'adoption de technologies bas-carbone doivent jouer un rôle majeur dans la transition vers la neutralité carbone en baissant les coûts des technologies de décarbonation existantes et en développant de nouveaux leviers technologiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), réduisant ainsi les coûts d'abattement sur le long terme. Dans le scénario Neutralité carbone en 2050 de l'AIE, près de 60 % des réductions d'émissions de CO₂ de l'industrie lourde au niveau mondial sont dues à des technologies encore en phase de développement (large prototype ou démonstrateur)³⁷⁸.

³⁷⁷ Règlement (UE) 2024/1252 du Parlement européen et du Conseil du 11 avril 2024 établissant un cadre visant à garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques

³⁷⁸ IEA (2021), [Net Zero by 2050](#), IEA, Paris

GRAPHIQUE 8
Émissions mondiales de CO₂ dans l'industrie lourde et leviers de réduction par maturité technologique



L'innovation bas-carbone en France et à l'étranger sont complémentaires pour réduire les coûts de la transition au niveau mondial et national. D'un côté, l'innovation bas-carbone française peut apporter des solutions technologiques aux enjeux de décarbonation que rencontrent les pays en développement et les pays développés. Par exemple, la technologie des petits réacteurs modulaires (SMR) développée en France dans le cadre de France 2030 pourrait contribuer à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à fournir un accès à une énergie bas-carbone à travers le monde. Réciproquement, l'innovation bas-carbone dans le reste du monde est également bénéfique pour la France. La commission Quinet sur la valeur de l'action pour le climat (VAC) estime en effet qu'une coopération internationale plus intense favoriserait le développement de technologies de rupture ayant comme caractéristiques un coût d'abattement réduit et un potentiel très large et pérenne (e.g. technologies du type Power to X³⁷⁹). Via notamment les effets d'apprentissage, le développement et le déploiement mondial à grande échelle de technologies bas-carbone pourraient contribuer à abaisser substantiellement le coût marginal de décarbonation en France³⁸⁰. L'adoption des technologies bas-carbone à travers le monde dépend notamment de la politique commerciale, les barrières tarifaires constituant à cet égard un frein³⁸¹.

Au niveau mondial, l'innovation bas-carbone a été dynamique sur la dernière décennie, portée récemment par l'essor de la Chine (cf. Graphique 9). Sur la période 2017-2021, la Chine a ainsi contribué à hauteur de 70 % à la hausse du nombre de familles de brevets internationaux (IPF) en technologies propres et durables, suivie par l'UE, avec 16 %³⁸². Sur cette période, l'UE détient la plus grande part d'IPF en technologies propres et durables (22 %), devant le Japon (21%), les États-Unis (20 %) et la Chine (16 %). L'Europe est à la pointe du développement des technologies bas-carbone, selon une mesure de la densité de brevets déposés dans des technologies clés³⁸³. Cependant, cette croissance serait comparable voire inférieure à celle du dépôt de brevets

³⁷⁹ Production d'un produit à vocation énergétique ou chimique à partir d'électricité, par exemple de l'hydrogène, du méthane ou encore des carburants de synthèse ; utile à la fois pour la production bas-carbone de ces produits (utilisation d'énergie électrique excédentaire, pendant les périodes de production d'énergies renouvelables intermittentes dépassant la demande) mais aussi pour le stockage d'électricité. Le potentiel d'abattement des technologies Power to X dépend entre autres de la quantité d'électricité bas-carbone disponible.

³⁸⁰ Quinet, A., et al. (2019) [La valeur de l'action pour le climat. France stratégie](#) (p. 128)

³⁸¹ Pienknagura, S. (2024) ["Trade in Low Carbon Technologies: The Role of Climate and Trade Policies."](#)

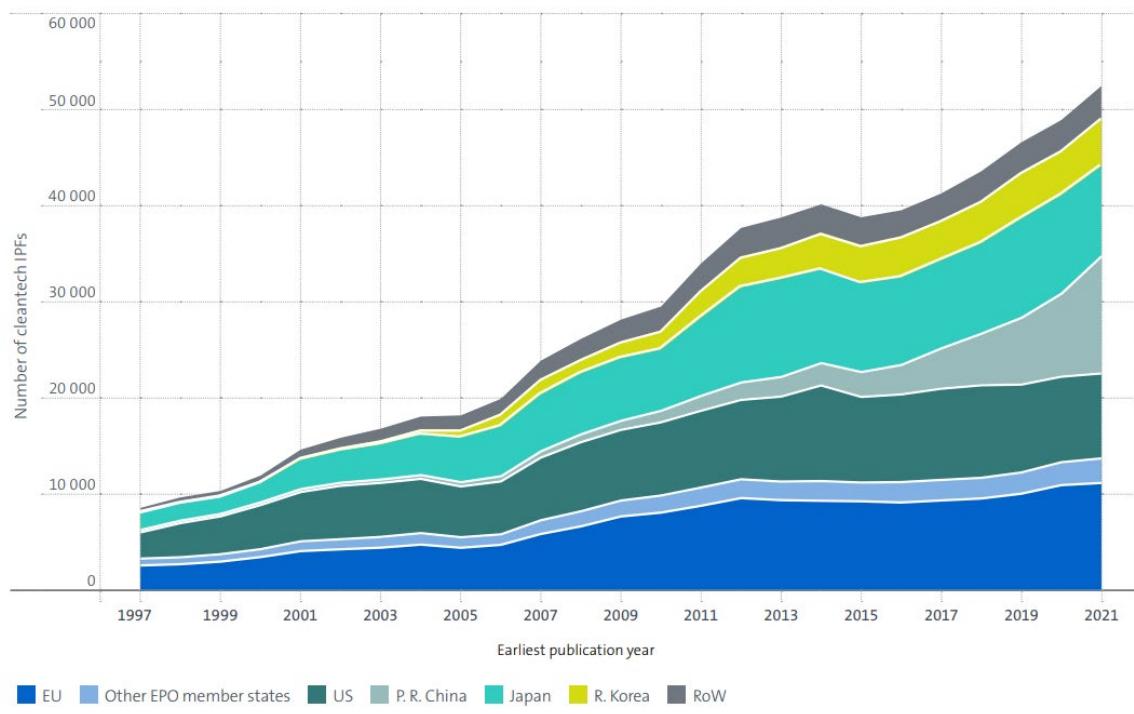
³⁸² European Patent Office & European Investment Bank (2024), [Financing and commercialization of cleantech innovation](#)

³⁸³ Draghi M. (2024), "The Future of EU Competitiveness", [Tome 2](#).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

toutes technologies confondues³⁸⁴. Cette stagnation relative, qui interpelle au vu des besoins en innovation pour la décarbonation, pourrait traduire un infléchissement de l'effort d'innovation bas-carbone vers la phase de déploiement des technologies.

GRAPHIQUE 9
Évolution du nombre de familles de brevets internationaux
(*international patent families – IPF* en anglais) en technologies propres et durables



Source : European Investment Bank (2024), « [Financing and commercialization of cleantech innovation](#) ».

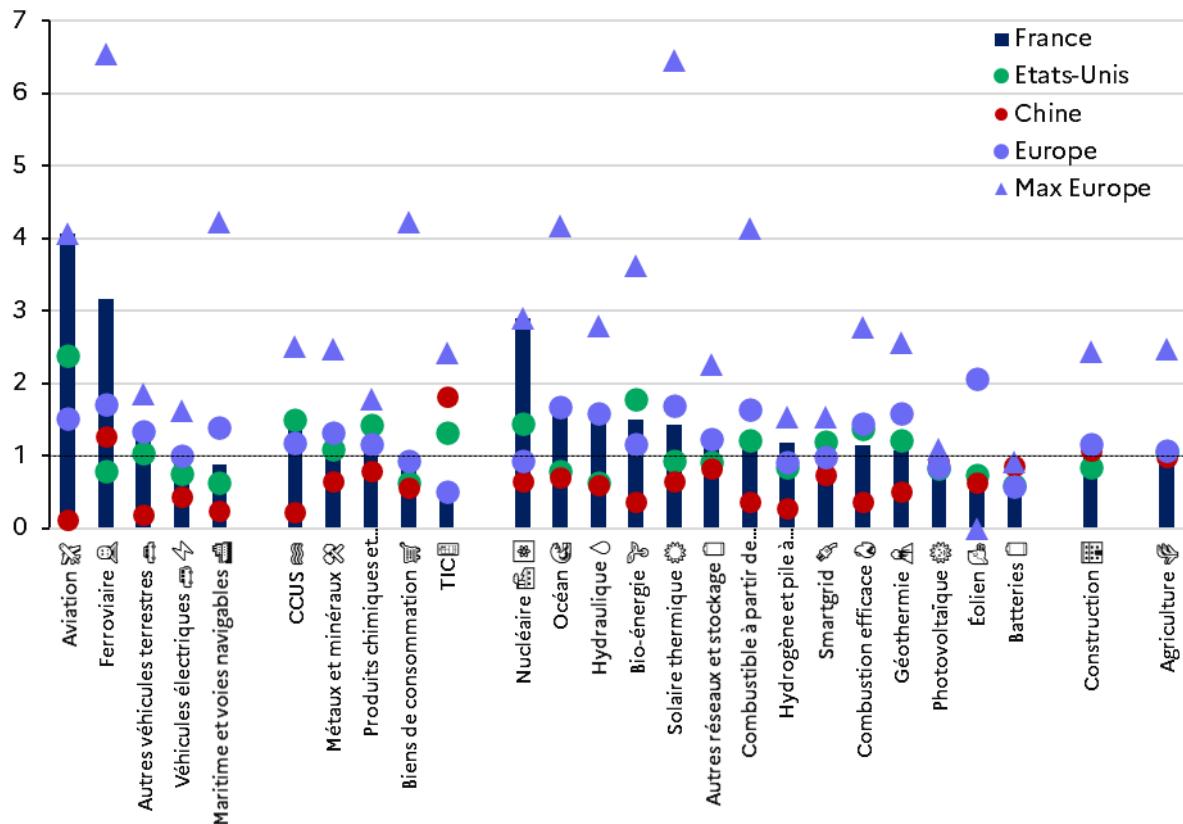
La France est notamment spécialisée dans l'innovation bas-carbone en technologies pour la décarbonation des transports aériens et ferroviaires, et le nucléaire (cf. Graphique 10). Les spécialisations nationales dans l'innovation technologique à destination de secteurs particuliers suivent souvent l'importance des secteurs dans l'économie des pays. Cela explique ainsi l'importante spécialisation dans l'aviation, le ferroviaire et le nucléaire de l'innovation bas-carbone française. En Europe, plusieurs pays montrent une forte spécialisation dans certaines technologies bas carbone pour l'énergie (e.g. le Danemark dans l'éolien et les technologies liées au stockage et à la distribution d'électricité ; les Pays-Bas dans les technologies CCUS ; l'Espagne dans l'éolien, le solaire thermique, l'hydroélectrique, les technologies pour l'océan ou les carburants à partir de déchets ; le Royaume-Uni dans les technologies pour l'océan et l'hydroélectrique ; l'Autriche dans l'hydroélectrique et le solaire thermique)³⁸⁵. Par ailleurs, l'innovation française est aussi spécialisée dans les énergies fossiles³⁸⁶.

³⁸⁴ OECD (2023), "Net Zero+: Climate and Economic Resilience in a Changing World", OECD Publishing, Paris.

³⁸⁵ IEA & European Patent Office (2021), "Patents and the energy transition".

³⁸⁶ IEA & European Patent Office (2021), *op. cit.*

GRAPHIQUE 10
Indice de spécialisation dans différentes technologies bas-carbone
(brevets déposés entre 2010 et 2019)



Source : AIE – European Patent Office (2021), ["Patent and the energy transition"](#).

Note de lecture : l'indice de spécialisation pour une technologie donnée est calculé comme la part des brevets liés à cette technologie dans le pays, ramenée à la part des brevets liés à cette technologie dans le monde. Un indice supérieur à 1 indique une spécialisation. L'indice de spécialisation pour l'Europe est calculé via l'EPC (European Patent Convention) qui regroupe 37 pays européens et la Turquie. L'indice de spécialisation maximal parmi les pays de l'Union européenne dont les données sont disponibles (Autriche, Suisse, Allemagne, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Suède et Royaume-Uni) est également indiqué (« Max Europe »).

Note : L'indice de spécialisation maximal en Europe pour l'éolien est 29 pour le Danemark, non représenté sur le graphique pour des soucis d'échelle.

8.3.2 Un soutien public important pour la R&D bas-carbone, notamment tel qu'entrepris par France 2030, est justifié économiquement

Plusieurs défaillances de marché et barrières spécifiques à la R&D bas-carbone justifient un soutien particulier à celle-ci. Les soutiens génériques à l'innovation et la tarification carbone ne peuvent en effet pas à eux seuls internaliser les externalités positives de connaissance et celles liées à la réduction des émissions de GES générées par la R&D bas-carbone^{387,388}. L'innovation bas-carbone doit surmonter trois barrières additionnelles qui lui sont propres : (i) la dépendance au sentier³⁸⁹, qui favorise les technologies brunes au détriment des investissements dans la R&D bas-carbone³⁹⁰ ; (ii) les difficultés de financement, particulièrement importantes pour les

³⁸⁷ En pratique la tarification est trop basse ou inexistante dans de nombreux pays. Cf. par exemple : World Bank (2024), ["State and Trends of Carbon Pricing 2024"](#).

³⁸⁸ La littérature met en évidence un effet positif de la tarification carbone sur l'innovation verte. van den Bergh, J., Savin, I. (2021), [« Impact of Carbon Pricing on Low-Carbon Innovation and Deep Decarbonisation: Controversies and Path Forward »](#), Environ Resource Econ 80, 705–715.

³⁸⁹ La dépendance au sentier décrit la tendance des économies à rester enfermées dans des modèles de production et de consommation établis, rendant la transition vers des pratiques plus durables plus complexe et onéreuse en raison des infrastructures, des technologies et des habitudes déjà en place.

³⁹⁰ Aghion, P., Hepburn, C., Teytelboym, A., & Zenghelis, D. (2019). [Path dependence, innovation and the economics of climate change](#). Handbook on green growth, 67-83.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

technologies bas-carbone du fait de leur complexité, de leur intensité en capital et des incertitudes sur leur rentabilité à long terme notamment liées à celle sur la trajectoire de prix du carbone ; et (iii) les coûts de coordination élevés, le déploiement de ces technologies correspondant souvent à des modifications importantes et conjointes des processus de production (e.g. déploiement des infrastructures de production, de stockage et de distribution pour l'hydrogène³⁹¹).

France 2030 est le principal outil national de soutien à l'innovation directement ciblé vers les technologies de décarbonation de l'économie. La moitié des 54 Md€ du plan, étales sur cinq ans, doivent en effet être fléchés vers la transition écologique et énergétique³⁹². Ce soutien a jusqu'ici ciblé (i) le développement d'innovations incrémentales, (ii) des solutions de décarbonation coûteuses et à fort potentiel d'abattement des émissions de GES, (iii) des solutions de décarbonation peu coûteuses et à plus faible potentiel d'abattement de GES, et (iv) les phases de démonstration et de développement³⁹³.

Au niveau de l'Union européenne, le soutien à l'innovation repose sur des dispositifs spécialisés sur différents niveaux de maturité technologique. Le programme-cadre Horizon Europe, doté d'une enveloppe de 95,5 Md€ pour 2021-2027, est principalement ciblé sur des projets de recherche fondamentale ou des technologies de rupture³⁹⁴. En complément, les dispositifs LIFE (5 Md€), InvestEU (7 Md€ pour la recherche et l'innovation) et le Fonds pour l'innovation (qui s'appuie sur l'EU-ETS avec une dotation de 40 Md€ à horizon 2030) soutiennent les phases avancées du processus d'innovation, en ciblant des technologies plus matures.

³⁹¹ Gradeva, M. & Dillies, V. (2022), « [France 2030 : une réponse économique aux enjeux de demain](#) », Les Thèmes de la DGE n° 5 (p. 8).

³⁹² CSIA (juin 2023), [France 2030 Lancement maîtrisé d'un plan d'investissements à impacts majeurs](#)

³⁹³ CSIA (2023), *Ibid.*

³⁹⁴ [Horizon Europe, Commission européenne.](#)

9 L'électricité au cœur de la décarbonation du système énergétique

Messages-clés

La production d'électricité française, déjà faible en carbone (part de la production bas-carbone de 95 % en 2024), doit fortement croître afin de permettre la décarbonation des autres secteurs via l'électrification, alors même qu'une large partie du parc productif actuel devra se renouveler à horizon 2050.

- La production d'électricité française a déjà l'une des plus basses intensités carbone en Europe, et la France est le premier producteur d'électricité bas-carbone en volume de l'UE.
- L'électrification des autres secteurs économiques nécessite une forte augmentation de la production d'électricité bas-carbone, d'environ 70 % en 2035 relativement à 2022, selon le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE 3).
- L'augmentation de la production bas-carbone devra compenser l'arrivée progressive en fin de vie, à horizon 2050, d'une large partie des capacités nucléaires actuelles.

Assurer la production d'énergie bas-carbone à moindre coût nécessitera de recourir à un mix diversifié entre énergies nucléaire et renouvelables, pour s'appuyer sur leurs complémentarités.

- Le recours à un mix diversifié d'énergies renouvelables et nucléaire permet d'optimiser les coûts de réseau et d'équilibrage offre-demande. Leur développement conjoint offre davantage de résilience face aux incertitudes sur l'évolution de la demande et des coûts respectifs des technologies.
- Dans l'ensemble, le mix électrique vers lequel se dirige la France est performant économiquement avec les projections de coûts actuelles, selon RTE. Les incertitudes restent cependant importantes. Les politiques publiques jouent un rôle important de modération du risque et donc du coût de financement pour les producteurs.

Les coûts du système électrique complet seront plus élevés et les prix probablement plus volatils qu'auparavant, mais l'exposition aux chocs de prix des énergies importées serait réduite. Par ailleurs, chaque technologie de production d'électricité bas-carbone fait face à des défis spécifiques.

- Les coûts de production de l'électricité bas carbone ont fortement baissé ces dernières années. Les dernières projections de RTE présentent une poursuite de la baisse de coûts (ralentie par rapport aux tendances récentes), mais cette projection est incertaine et dépend de plusieurs paramètres comme les coûts de financement et l'importance des gains d'échelle et d'apprentissage.
- La transition énergétique nécessite d'importants investissements pour la production d'électricité mais également pour les réseaux de transport et distribution. Au total, le coût moyen du système électrique complet, par MWh produit, pourrait augmenter de 15 à 70 % en 2050 relativement à aujourd'hui, selon différentes sources. La transmission de ces coûts aux prix de marché dépendra du fonctionnement des marchés de l'électricité et des politiques publiques.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- La part croissante des renouvelables augmenterait probablement la volatilité infra-journalière et infra-hebdomadaire des prix de gros, tandis que l'exposition aux chocs de prix liés à l'importation de produits fossiles diminuerait.
- La construction de nouveaux réacteurs nucléaires soulève des enjeux industriels, et les énergies renouvelables des enjeux d'acceptabilité locale.
- La transition énergétique permettra d'améliorer plusieurs dimensions de la sécurité d'approvisionnement énergétique et de souveraineté énergétique : les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance commerciale (les importations de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix, déterminés sur les marchés mondiaux.

La maîtrise et la flexibilité de la demande limiteraient les coûts pour le système électrique.

- Un recours accru à la maîtrise de la demande d'électricité permettrait à horizon 2050 de réduire les coûts du système électrique de 7 à 11 Md€/an, mais engendre aussi des coûts pour les consommateurs.
- Accroître la flexibilité de la demande facilite le nécessaire équilibrage entre offre et demande d'électricité, et constituerait une alternative au développement de capacités de production et de stockage parfois plus coûteuses.

La transition énergétique nécessite une transformation des réseaux d'électricité.

- L'expansion du réseau électrique fait face à de forts enjeux de coordination et d'anticipation, dans un contexte (i) de déploiement de l'électrification des usages, (ii) d'évolution de la répartition des moyens de production d'électricité et (iii) d'adaptation des réseaux au changement climatique. Un manque de coordination et d'anticipation peut représenter des pertes économiques importantes, déjà visibles à l'étranger.

9.1 L'électricité est au cœur des enjeux de transformation du système énergétique

9.1.1 L'électrification est au cœur de la transition vers la neutralité carbone

La consommation énergétique française est majoritairement carbonée : en 2023, environ 58 % de la consommation finale française d'énergie était issue d'énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz)³⁹⁵. Pour les secteurs consommateurs d'énergies fossiles, la décarbonation reposera sur trois principaux leviers : (i) l'efficacité énergétique, *i.e.* consommer moins d'énergie pour fournir le même service ; (ii) la sobriété, *i.e.* consommer moins d'énergie via la diminution de la quantité ou de la qualité du service rendu au consommateur ; (iii) la décarbonation des vecteurs énergétiques, *i.e.* le remplacement de la source d'énergie fossile par une autre source d'énergie moins émissive. L'électricité française, très peu carbonée, constitue ainsi un excellent substitut pour la décarbonation des autres secteurs. Sa disponibilité en quantité suffisante et à un prix incitatif est au cœur de la transition bas-carbone.

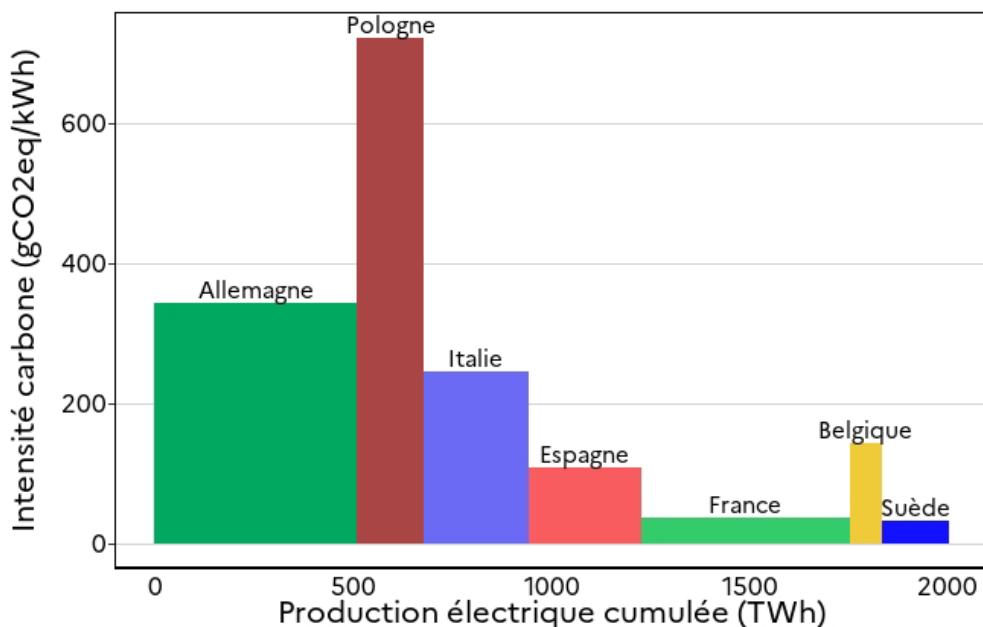
Faible en carbone, la production d'électricité française doit fortement croître afin de permettre la décarbonation des autres secteurs, alors même qu'une large partie du parc productif actuel sera déclassée à horizon 2050. La production d'électricité de 506 TWh en 2023 a émis 14 MtCO₂éq, plaçant la France parmi les pays européens aux plus basses intensités carbone (cf. Graphique 1). Dans le contexte de la transition vers une économie décarbonée, la France doit produire suffisamment d'électricité pour répondre à l'électrification des autres secteurs d'activité, tout en

³⁹⁵ SDES (2024), « [Chiffres clés de l'énergie – Édition 2024](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

atteignant une décarbonation complète³⁹⁶. Selon le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE 3), la production d'électricité bas-carbone pourrait atteindre 560 TWh par an d'ici 2030 puis 640 TWh par an d'ici 2035 (soit +70 % par rapport à 2022)³⁹⁷. En outre, l'Union européenne s'est fixé pour cibles intermédiaires en 2030 (i) l'atteinte de 42,5 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale et (ii) une diminution de 11,7 % de la consommation d'énergie finale relativement à des projections de référence³⁹⁸. Ce dernier objectif implique un recours accru à l'efficacité énergétique et à la sobriété.

GRAPHIQUE 1
Production et intensité carbone de l'électricité pour les principaux producteurs européens en 2022



Source : [European environment agency, ENTSO-E](#).

Note : les pays sont ordonnés par émissions totales décroissantes.

³⁹⁶ La SNBC 2 prévoit ainsi des émissions résiduelles à 2 MtCO₂éq en 2050 pour l'ensemble du secteur de la production d'énergie, la partie résiduelle étant constituée de carburants fossiles destinés à l'aviation et aux transports maritimes, et des fuites résiduelles, notamment des fuites de méthane. Le projet de SNBC 3, publié dans le cadre de la concertation fin 2024, prévoit à horizon 2030 une réduction des émissions de la production d'électricité de 80 % par rapport à 2021 l'amenant à 4 MtCO₂éq, en parallèle d'une augmentation de la production totale d'électricité de 13 % pour atteindre 590 TWh. Cf. Gouvernement (2024), "[Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3. Premières grandes orientations à l'horizon 2030 et enjeux à l'horizon 2050](#)" ; RTE (2022), [Bilan électrique 2021](#)

³⁹⁷ Projet de PPE3 soumis à la concertation – Novembre 2024, p.28.

³⁹⁸ L'article 4 de la directive 2023/1791/EU relative à l'efficacité énergétique fixe un objectif européen à l'horizon 2030 de consommation maximale d'énergie finale de 763 Mtep et d'énergie primaire 992,5 Mtep. Ces objectifs visent à une réduction de la consommation d'énergie d'au moins 11,7 % en 2030 par rapport aux projections du scénario de référence de l'Union de 2020, et une réduction d'au moins 24 % relativement à 2023. Source : PPE3 publiée dans le cadre de la concertation fin 2024.

ENCADRÉ 1

Les défis de l'analyse économique de la transition énergétique

En raison du poids des contraintes physiques dans la transition énergétique, cette dernière pose une difficulté particulière pour les économistes. Cet encadré décrit trois défis qui se posent pour l'analyse économique de la transition énergétique pour répondre au changement climatique.

- 1. Les degrés de substitution et de complémentarité entre les différentes formes d'énergie.** Les différentes formes d'énergie possèdent des caractéristiques distinctes (notamment la densité énergétique³⁹⁹) qui en font des substituts imparfaits. Par ailleurs, pour l'électricité, il est essentiel de tenir compte de la complémentarité entre les différentes formes de production, notamment pour les énergies renouvelables intermittentes (éolien et solaire) qui nécessitent des capacités de production ou d'effacement complémentaires. La prise en compte de ces limites à la substitution des types d'énergie est un élément essentiel de l'analyse économique de la transition énergétique.
- 2. Le couplage entre modèles macroéconomiques et modèles microéconomiques décrivant le secteur énergétique, avec notamment les enjeux de bouclage.** Le secteur énergétique se caractérise en effet par des contraintes physiques et techniques fortes, telles que la finitude des ressources, ou les temps de mise en service des capacités de production. Si ces caractéristiques spécifiques sont bien prises en compte dans les modèles sectoriels *ad hoc*, ce n'est pas le cas habituellement des modèles macroéconomiques, qui sont par ailleurs indispensables à la bonne compréhension des enjeux économiques de la transition. Le système énergétique occupant une place centrale dans la transition, où il est appelé à se transformer en profondeur, il est ainsi nécessaire de le modéliser de manière appropriée dans les analyses macroéconomiques. À cette fin, une approche couramment retenue est le couplage, où les paramètres de sortie d'un modèle microéconomique du système énergétique servent de paramètres d'entrée à un modèle macroéconomique, et inversement. Toutefois, un tel procédé est très complexe à mettre en œuvre. Le rapport de la commission Selma Mahfouz – Jean Pisani-Ferry⁴⁰⁰ a ainsi souligné qu'une prise en compte satisfaisante des spécificités du système énergétique dans l'analyse macroéconomique reste un défi actuel.
- 3. Les externalités liées à l'énergie et la sobriété énergétique.** Toute production d'énergie est source d'externalités négatives en sus des émissions de gaz à effet de serre, et notamment des effets sur les écosystèmes et la biodiversité⁴⁰¹. Il peut donc être justifié de poursuivre un objectif de sobriété énergétique qui va au-delà des seuls objectifs de décarbonation, de bouclage énergétique et de la prise en compte des contraintes d'approvisionnement. L'analyse économique de la transition énergétique gagnerait à être approfondie notamment sur : (1) la bonne prise en compte des externalités de la production d'énergie ; (2) les conséquences d'une sobriété énergétique accrue sur l'offre et la demande d'énergie, et sur l'économie en général ; (3) les enjeux distributifs associés.

³⁹⁹ La densité énergétique exprime la quantité d'énergie par unité de volume ou de masse. Elle a des implications importantes sur les usages possibles de l'énergie, par exemple dans le transport aérien qui nécessite une densité énergétique importante.

⁴⁰⁰ Mahfouz, Selma & Pisani-Ferry, Jean (2023), « [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) »

⁴⁰¹ Par exemple, les centrales nucléaires engendrent des déchets coûteux à traiter, tandis que les barrages hydroélectriques modifient les écosystèmes aquatiques.

9.1.2 L'accroissement de l'offre d'électricité bas-carbone reposera sur un mix de technologies diversifiées, avec des structures de coûts et des défis spécifiques

9.1.2.1 *Les énergies électriques renouvelables présentent des coûts de production faibles et décroissants, mais induisent des coûts systèmes spécifiques et soulèvent notamment des enjeux d'acceptabilité locale*

Le coût des installations de production électrique renouvelable a diminué de 50 à 90 % entre 2010 et 2022 (cf. Graphique 2). La réduction de coûts des technologies bas-carbone, dont les énergies renouvelables, serait due principalement à la recherche et développement (R&D)⁴⁰² et aux économies d'échelle, et dans une moindre mesure aux effets d'apprentissage (*learning by doing*)⁴⁰³. La dynamique des coûts de production à la centrale (ou LCOE, cf. Encadré 2) des énergies électriques renouvelables (EnR) dépend du recours à ces technologies.

Les projections françaises et internationales récentes supposent une poursuite de la baisse des coûts de production à la centrale à horizon 2050. Les scénarios « Futurs énergétiques 2050 » du gestionnaire de réseau de transport d'électricité (RTE) supposent une baisse des coûts des renouvelables de 15 à 40 % à horizon 2050 selon les technologies, soit un net ralentissement par rapport à la trajectoire observée entre 2010 et 2022. Cette hypothèse est légèrement plus optimiste que les travaux de France Stratégie (Commission Criqui), où les LCOE des EnR diminueraient peu relativement à aujourd'hui⁴⁰⁴. Cependant, d'autres travaux sont plus optimistes : dans les scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les coûts en Europe pourraient diminuer de 25 à 66 % selon les technologies d'ici à 2050⁴⁰⁵, tandis que Way et al. (2022)⁴⁰⁶ aboutissent à une baisse mondiale de coûts de 80 % pour le photovoltaïque et de 50 % pour l'éolien, grâce à une modélisation des effets d'apprentissage et d'échelle. Ces projections reposent sur les chaînes de valeur mondiales actuelles, sans prendre en compte les effets des éventuelles politiques industrielles ou commerciales futures.

⁴⁰² Par exemple, les modules photovoltaïques (i) ont gagné en densité avec l'adoption de la technologie PERC (Passivated Emitter and Rear Cell), (ii) n'ont plus le même procédé de fabrication (découpe de wafer par fil de coupe diamanté) et (iii) utilisent des matériaux plus efficaces (passage du silicium polycristallin au silicium monocristallin). Ces changements ont permis une baisse de coût de 90 % pour une même capacité entre 2009 et 2022. Source : IRENA (2023) « [Coûts de la production d'énergie renouvelable en 2022](#) ».

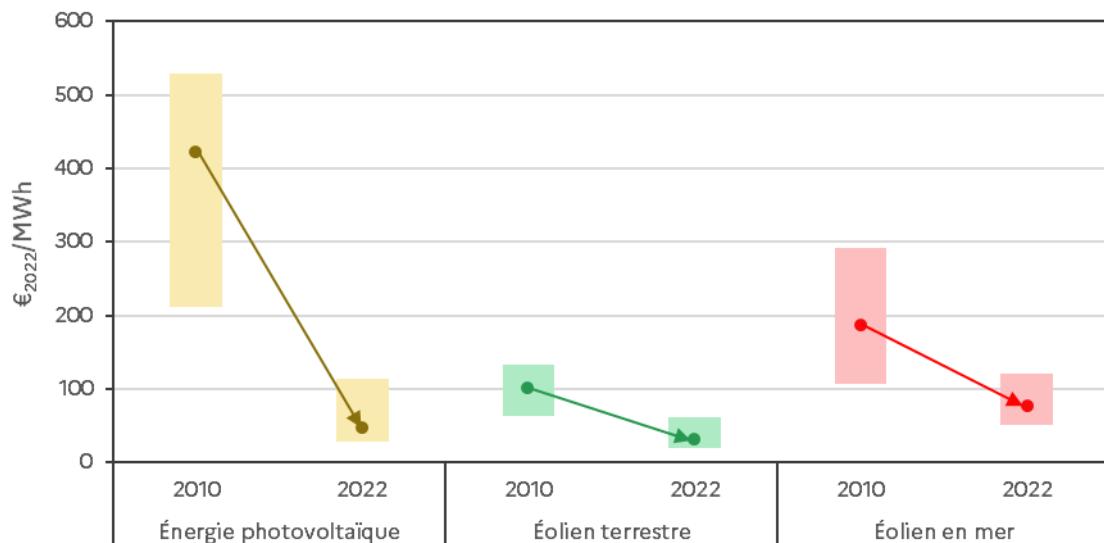
⁴⁰³ Source : OECD (2023) « [Driving low-carbon innovations for climate neutrality](#) » – Policy papers (p. 37). Cf. plus spécifiquement pour les panneaux solaires : Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. E. (2018) « [Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules](#) », *Energy policy*.

⁴⁰⁴ France Stratégie, Rapport de la Commission Criqui (2022), « [Les coûts d'abattement. Partie 3 – Électricité](#) ».

⁴⁰⁵ AIE (2021), « [Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector](#) ».

⁴⁰⁶ Way et al. (2022), « [Empirically grounded technology forecasts and the energy transition](#) », Joule.

GRAPHIQUE 2
Dynamique des coûts actualisés de l'électricité pour les énergies renouvelables entre 2010 et 2022 en Europe



Source : International Renewable Energy Agency (2023), « Renewable power generation costs in 2022 » (pour l'Europe).

Note : les points correspondent au LCOE nominal (i.e. à facteur de charge donné) moyen pour l'année considérée, tandis que les zones colorées correspondent aux 5^e-95^e percentiles des LCOE nominaux observés. Les coûts de l'éolien en mer comprennent les éoliennes posées et flottantes.

ENCADRÉ 2

La structure de coût de production du système électrique

Le calcul des coûts du système de production électrique français intègre deux principales composantes :

- Les coûts de production à la centrale ou LCOE (Levelized Cost of Energy) englobent, pour une installation productive donnée et isolée, ses coûts fixes ou CAPEX (coûts d'investissement dont financiers, coûts de démantèlement et de gestion des déchets) lissés sur l'ensemble de la durée de vie de l'installation, ainsi que ses coûts variables ou OPEX (coûts variables d'exploitation et de maintenance, coût du combustible). Ces coûts, en euros et annualisés avec un taux d'actualisation, sont rapportés à la production annuelle effective. En d'autres termes, le LCOE correspond au prix de vente moyen auquel une installation doit valoriser sa production d'électricité (en sortie de centrale) pour rentabiliser l'investissement.
- Les coûts « système » correspondent aux coûts de réseau (raccordement des installations productrices ou consommatrices, renforcement des infrastructures) induits par la localisation géographique de l'offre et de la demande, ainsi que les coûts liés à la sécurité d'approvisionnement. Il s'agit notamment de s'assurer que l'offre n'échoue à répondre à la demande que deux heures par an en espérance, par obligation réglementaire. Ce critère de sécurité implique, à mix de production et profil de demande donnés, un niveau de demande en capacité de l'offre (interconnexions aux pays voisins, batteries, etc.).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Les coûts de production d'une installation dépendent de plusieurs hypothèses structurantes, notamment du coût du capital et du facteur de charge. Le taux de rémunération du capital lors du financement des investissements a une influence d'autant plus forte sur les coûts totaux d'une technologie de production que le poids des coûts fixes (CAPEX) est élevé : un coût du capital élevé pénalise ainsi davantage les EnR que les centrales thermiques fossiles. Quant au facteur de charge, il correspond au ratio entre la quantité d'électricité effectivement produite et la production théorique en cas de fonctionnement permanent à pleine capacité. Ce facteur de charge dépend du niveau et du mix de production électrique⁴⁰⁷, ainsi que de la nature et de la localisation de l'installation. Par exemple, en Europe les gisements d'énergies renouvelables les plus compétitifs se situent généralement au sud pour le photovoltaïque et au nord pour l'éolien (cf. Graphique 3).

Les énergies renouvelables électriques impliquent des coûts système pour mettre en adéquation la production avec le profil géographique et temporel de la demande. Dans les scénarios où le poids des EnR est plus important, les coûts de raccordement et de renforcement des réseaux de transport et de distribution sont plus élevés, tout comme la demande en flexibilité de l'offre (stockage ou centrales bas-carbone pilotables). Parmi les énergies renouvelables en France, le profil journalier de la production éolienne présente une meilleure adéquation avec celui de la demande, relativement au photovoltaïque : il nécessite ainsi moins d'investissements dans les flexibilités ou le stockage. L'éolien est ainsi bien plus mobilisé que le photovoltaïque dans les scénarios de mix électriques à coût économique minimal de RTE (85 % d'éolien contre 15 % de photovoltaïque dans un scénario central)⁴⁰⁸, alors que leurs « coûts de production à la centrale » (LCOE) sont aujourd'hui similaires⁴⁰⁹.

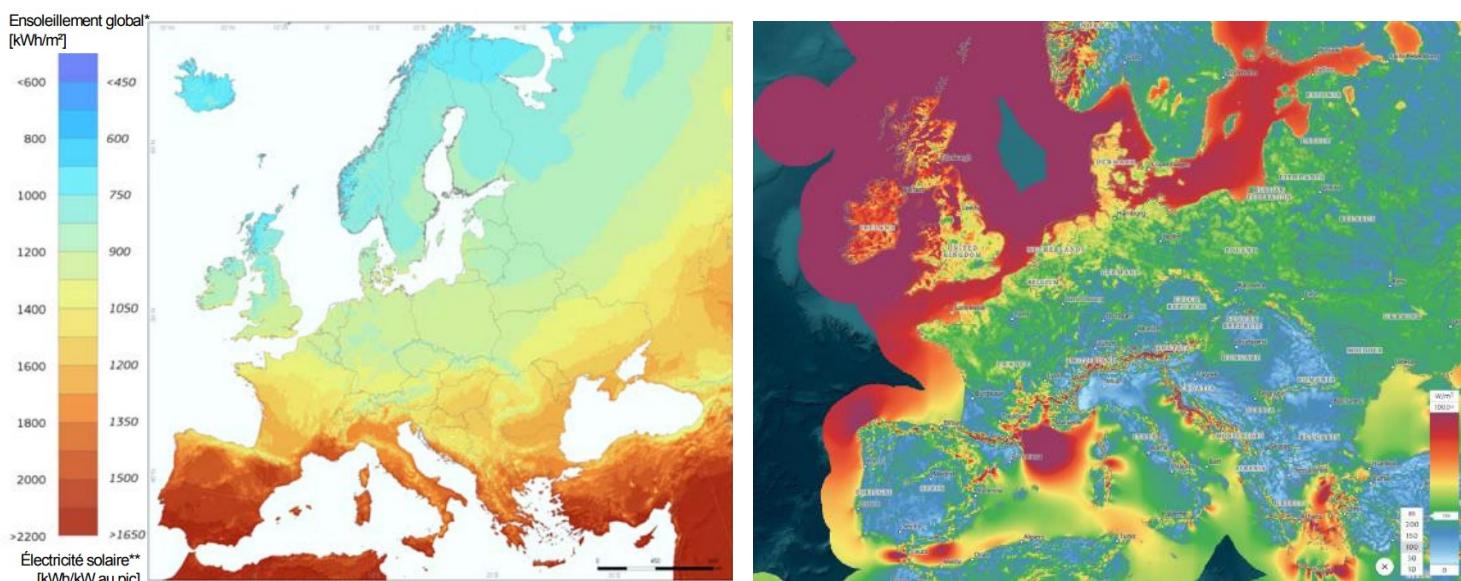
Au-delà des seules considérations de coût, ces technologies soulèvent des enjeux d'acceptabilité locale. Elles sont sources d'externalités négatives pour les riverains, ce qui induit des retards de déploiement et une sous-optimisation de leur localisation, sources de surcoûts pour la collectivité (cf. Encadré 3).

⁴⁰⁷ Tous les moyens de production d'électricité n'étant pas nécessaires à chaque instant, le facteur de charge ne dépend pas uniquement de la disponibilité de l'installation mais également de la nécessité de sa production pour assurer l'équilibre offre-demande à moindre coût, qui est fonction des autres moyens de production du mix et du niveau de demande.

⁴⁰⁸ RTE (2022), « [Futurs énergétiques 2050](#) », pages 616 à 618.

⁴⁰⁹ Pour des installations photovoltaïques et éoliennes au sol.

GRAPHIQUE 3
Potentiel de production photovoltaïque (gauche) et éolien (droite) en Europe



Source : Commission européenne (2021, gauche) et Global Wind Atlas (2024, droite).

Lecture : le potentiel de production d'électricité à partir de photovoltaïque varie du simple au double entre le Sud et le Nord de l'Europe. Il varie de moins de 1000 kWh/m² en Suède à plus de 2000 kWh/m² au Sud de l'Espagne. En revanche, la densité de puissance éolienne moyenne dépasse 1000 W/m² sur la côte méditerranéenne française ainsi que sur les côtes britanniques.

* Échelle de gauche. ** Échelle de droite.

ENCADRÉ 3

Acceptabilité des énergies renouvelables

Les projets d'énergies renouvelables en France rencontrent des difficultés d'acceptabilité locale liées à des nuisances principalement perçues par les riverains. Alors que les bénéfices socio-économiques liés à la production d'électricité bas-carbone sont diffus, les nuisances sont très majoritairement locales et inversement proportionnelles à la distance des installations.

Cette faible acceptabilité des projets induit des surcoûts pour la collectivité du fait des retards dans leur déploiement et d'une sous-optimisation de leur localisation. Cela peut se concrétiser par l'installation dans des zones moins rentables ou par la limitation de la taille de l'installation, ce qui implique des baisses de la production.

Des mesures préventives, visant un meilleur accès à l'information, coexistent avec des mesures curatives pour améliorer l'acceptabilité. D'une part, la réglementation prévoit des processus de concertation dans l'élaboration des projets⁴¹⁰, ainsi que des interdictions ou limitations de taille des installations dans certaines zones⁴¹¹. D'autre part, des retombées économiques locales sont

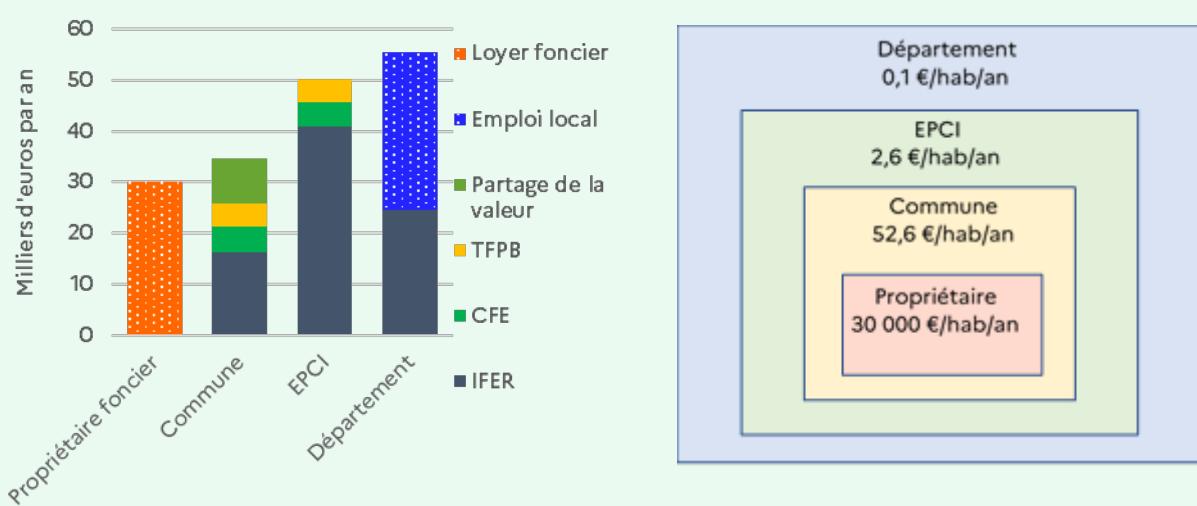
⁴¹⁰ La majorité des projets sont soumis à une enquête publique, qui consiste en un dispositif d'information et de recueil des avis de la population. [Section 1 : Enquêtes publiques relatives aux projets, plans et programmes ayant une incidence sur l'environnement \(Articles L123-1 à L123-18\) - Légifrance](#)

⁴¹¹ Le code de l'environnement prévoit une distance minimale de 500 m entre une éolienne et toute habitation. [Section 11 : Eoliennes \(Articles L515-44 à L515-47\) - Légifrance](#)

permises par la fiscalité locale, le partage de la valeur⁴¹², le financement participatif et la gouvernance partagée⁴¹³.

Dans la majorité des cas, les retombées économiques de la fiscalité locale sont inégalement réparties et peu visibles par les riverains. Par exemple, la répartition de l'Imposition Forfaitaire des Entreprises de Réseaux (IFER) entre les collectivités territoriales concernées (commune d'implantation, intercommunalité, département) est fixe et ne dépend pas de la distance des populations concernées au projet, ni de la taille des populations concernées. Dès lors, une commune limitrophe à un projet et très peuplée peut ne rien percevoir contrairement à une petite commune où serait implanté le projet. De plus, le produit de la fiscalité locale est affecté au budget général des collectivités ce qui le rend difficilement visible pour le riverain. Au contraire, la taxe éolienne en mer tient compte de la population et de la co-visibilité des communes avec le parc. Plus largement, une répartition des retombées économiques locales davantage orientée vers les communes, et si possible directement vers des biens communs, semble constituer un levier important d'amélioration de l'acceptabilité.

GRAPHIQUE 4
Retombées économiques locales par acteur (à gauche) et par habitant (à droite)
pour un parc éolien terrestre de 10 MW



Source : calculs DG Trésor.

Note : TFPB pour Taxe foncière sur les propriétés bâties, CFE pour Cotisation Foncière des Entreprises, EPCI pour Établissement Public de Coopération Intercommunale.

Notes de lecture :

- À gauche, les retombées économiques directes (e.g., fiscalité) et indirectes (e.g., emploi) du projet sont attribuées aux acteurs en bénéficiant, c'est-à-dire les propriétaires fonciers qui bénéficient de loyers fonciers et les collectivités territoriales qui bénéficient de retombées fiscales et autres.
- À droite, ces retombées sont divisées par la population de chaque collectivité locale concernée.

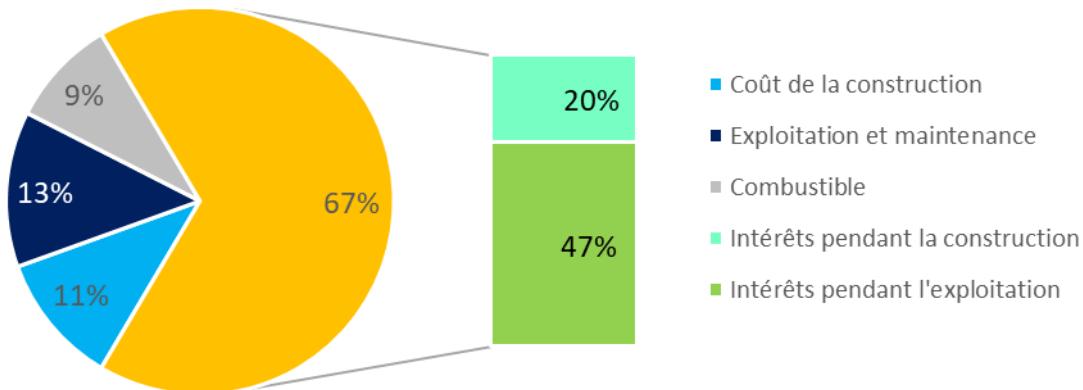
⁴¹² Disposition introduite par la loi APER (Accélération de la Production d'Energie Renouvelable), dont le fonctionnement est similaire à la fiscalité locale. [LOI n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables \(1\) - Légifrance](#)

⁴¹³ Financement participatif : les citoyens et collectivités territoriales apportent une certaine proportion des fonds d'un projet sous forme de dette. Gouvernance partagée : les citoyens et collectivités entrent au capital du projet.

9.1.2.2 Le coût de production d'électricité à la centrale des réacteurs nucléaires existants est très compétitif, mais celui des futurs réacteurs sera plus élevé et leur déploiement représente un important défi industriel

Les réacteurs nucléaires constituent des projets d'investissements risqués, à forte intensité capitaliste et au temps de construction long (une dizaine d'années minimum) : leur structure de coûts est dominée par les investissements de construction et le coût du capital. La phase de construction des projets nucléaires mobilise des investissements élevés sans revenu pendant le temps long de construction (entre 10 et 15 ans pour les nouvelles générations de réacteur). Le risque des projets nucléaires (retard, surcoûts, complexité opérationnelle, risque de non-appel sur le réseau⁴¹⁴), l'ampleur des capitaux à mobiliser et le coût de leur immobilisation font du coût du capital la composante majeure (cf. Graphique 5) du coût annualisé de l'électricité en sortie de réacteur (LCOE).

GRAPHIQUE 5
Décomposition du coût complet annualisé du MWh produit, pour un CMPC
(Coût Moyen Pondéré du Capital) de 7 %



Sources : Nuclear Energy Agency – OCDE; Bodel et. al. (2021), "Generic Feasibility Assessment : Helping to Choose the Nuclear Piece of the Net Zero Jigsaw"

Continuer l'exploitation des réacteurs existants le plus longtemps possible, dans le respect des exigences de sûreté, est une solution économiquement très compétitive. Pour les réacteurs existants en France, le coût de production moyen amorti a été estimé par la Commission de Régulation de l'Energie⁴¹⁵ (CRE) et la Cour des Comptes⁴¹⁶ dans une fourchette comprise entre 55 et 70 €/MWh. Ce coût, qui intègre le réacteur pressurisé européen (EPR) de Flamanville récemment mis en service, est fondé sur une estimation de type contrat sur la différence (*contract for difference - CfD*). Cette méthode estime le niveau de prix en €/MWh permettant de couvrir le coût complet, qui comprend les coûts d'exploitation (dont coûts liés à l'aval du cycle), le coût du prolongement de l'exploitation et une rémunération des capitaux engagés correspondant aux risques encourus. Le parc nucléaire français étant déjà largement amorti, ce coût doit être considéré comme une borne basse pour les prochains réacteurs.

Pour une même série de réacteurs nucléaires, les coûts de construction diminuent grâce aux effets d'apprentissage. Cependant, les coûts augmentent à chaque nouvelle série, en partie pour répondre aux exigences croissantes en termes de sûreté nucléaire (cf. Graphique 6). Le redémarrage de la filière de la construction nucléaire après une vingtaine d'années sans activité s'est accompagné d'un fort surcoût d'entrée. Ainsi, le coût de construction sec (ou coût de construction *overnight*, i.e. non actualisé et excluant les coûts de financement) de l'EPR de

⁴¹⁴ En raison d'une part suffisante d'énergies renouvelables couvrant la demande.

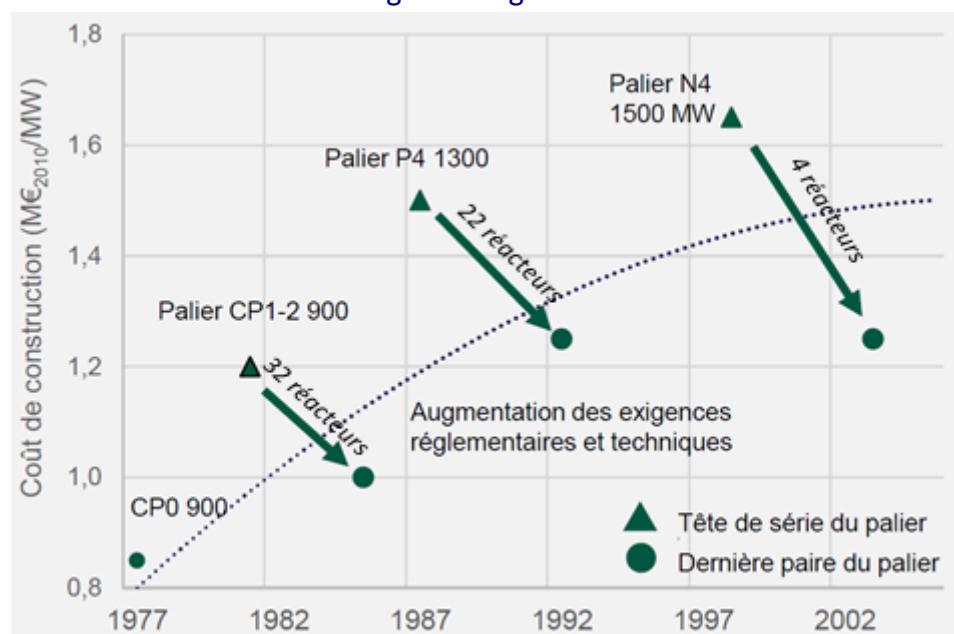
⁴¹⁵ [Remise du rapport de la Commission de régulation de l'énergie \(CRE\) au Gouvernement sur les coûts du parc électronucléaire](#).

⁴¹⁶ Observations définitives du 15 septembre 2021 sur l'analyse des coûts du système de production électrique en France.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Flamanville s'est élevé à près de 8 000 €₂₀₂₂/kW⁴¹⁷, soit en moyenne cinq fois plus que pour la génération précédente. Les scénarios de décarbonation de France Stratégie (Commission Criqui)⁴¹⁸ et de RTE⁴¹⁹ supposent une disparition de ce surcoût d'entrée avec de forts effets d'apprentissage, permettant une diminution progressive de plus de 35 % des coûts de construction sec des centrales nucléaires à l'horizon 2050.

GRAPHIQUE 6
Évolution des coûts constatée entre tête de série et dernier réacteur construit, pour chaque palier technologique du nucléaire, et estimation de l'effet des exigences réglementaires de sûreté



Sources : Cour des Comptes (2012) ; Berthélemy et al. (2019) « La réduction des coûts du nouveau nucléaire », La Revue de l'énergie n°642

Pour le nouveau nucléaire français (NNF), le coût de l'électricité en sortie de centrale (LCOE) dépendra du niveau de soutien public mais s'établirait à un niveau plus élevé que celui des réacteurs existants et des technologies renouvelables. Le coût de construction sec des 6 réacteurs EPR2 du programme actuel est estimé à 52 Md€₂₀₂₀, soit en moyenne 5 530 €₂₀₂₂/kW⁴²⁰. Ces montants sont cependant en cours de réestimation. Le prix de l'électricité en sortie du NNF dépendra du niveau de soutien public, qui pourrait prendre la forme d'un financement bonifié et d'un partage des risques entre l'État et EDF permettant de réduire le coût du capital.

Le NNF permet néanmoins de limiter les coûts « système » (cf. Encadré 2). Les coûts de raccordement et de renforcement au réseau sont ainsi sensiblement plus faibles que pour les EnR, tout comme la demande induite en flexibilités de l'offre (cf. Section 9.1.2.1). Les travaux de RTE, qui tiennent compte de l'ensemble des coûts du système électrique, suggèrent ainsi un intérêt économique à disposer de nouveaux réacteurs nucléaires dans le mix électrique à l'horizon 2050-2060⁴²¹ (cf. Section 9.1.2.3).

Enfin, les réacteurs nucléaires modulaires (SMR - Small Modular Reactors) sont généralement considérés comme non disponibles à une échelle industrielle pour les exercices prospectifs : la

⁴¹⁷ RTE (2022), « [Futurs énergétiques 2050](#) », page 549.

⁴¹⁸ France Stratégie (2022), *Ibid.*

⁴¹⁹ RTE (2022), *Ibid.*

⁴²⁰ RTE (2024), « [Bilan Prévisionnel 2035](#) ».

⁴²¹ RTE (2022), « [Futurs énergétiques 2050](#) », page 549.

plupart des projets⁴²² sont encore au stade exploratoire. Le développement et l'industrialisation de ces technologies sont ainsi soumis à de très fortes incertitudes. Cependant, les SMR ont un potentiel important : de petite taille et représentant une puissance 5 à 10 fois moindre qu'un EPR, ils reposent sur l'assemblage de modules produits en série et transportés vers le site d'implantation, évitant ainsi les coûts élevés et incertains du nouveau nucléaire de 3^e génération (comme Flamanville et les EPR2). Ils offrent également une plus grande flexibilité de déploiement, géographique notamment. Enfin, la France pourrait bénéficier d'un avantage compétitif significatif dans le développement, la production et l'exportation des SMR (cf. Section 8.3).

9.1.2.3 Recourir à des technologies diversifiées permet de bénéficier de leurs complémentarités, et d'améliorer la résilience des scénarios face aux incertitudes

Outre la limitation des coûts système associés à un mix électrique où le poids des EnR serait important (cf. Section 9.1.2.1), le nucléaire et les EnR électriques présentent d'autres complémentarités.

Les durées de développement des EnR électriques (entre 3 et 7 ans) plus courtes que celles du nucléaire (plus de 10 ans) permettent (i) de répondre à la hausse attendue de la consommation d'électricité dans les dix prochaines années pour atteindre les objectifs climatiques et (ii) de s'adapter à l'incertitude de plus long terme sur le niveau de consommation d'électricité. D'après le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE3), d'ici 2030, le solaire (+45 TWh, +225 % relativement à 2022) et l'éolien terrestre (+25 TWh, +85 %) augmenteront la production d'électricité bas-carbone. À partir de 2030, l'accélération de la production et du développement de l'éolien en mer (+55 TWh entre 2030 et 2035, soit une multiplication par 4,5) constituera un relais de croissance. Ce n'est qu'au-delà de 2035 que de nouveaux réacteurs nucléaires (EPR) entreront en service pour répondre à l'électrification des usages à cet horizon (e.g. pompes à chaleur, véhicules électriques, production d'hydrogène par électrolyse). L'incertitude sur la consommation d'électricité est importante (de l'ordre de 100 TWh soit ~20 % à l'horizon 2035) et dépendra notamment du rythme d'électrification des usages, du niveau de sobriété et d'efficacité énergétique (cf. Partie 9.1.3). Le rythme de développement des EnR pourra alors être ajusté pour s'adapter au niveau de demande, grâce à leur faible temps de déploiement. La différence de durée de développement entraîne par ailleurs une variété de sources de financement : les projets EnR sont financés par des acteurs de marché, d'autant plus facilement et à moindre coût que l'État réduit le risque-prix par des dispositifs de soutien (cf. Encadré 4). Pour le nucléaire, la nature monopolistique et le coût d'investissement en dizaines de milliards d'euros, à longue durée d'immobilisation, requièrent généralement une intervention publique.

À l'horizon 2050, un mix électrique français composé à la fois de nucléaire et d'énergies renouvelables est ainsi performant économiquement, d'après RTE. Leurs travaux, qui tiennent compte de l'ensemble des coûts du système électrique⁴²³, suggèrent ainsi un intérêt économique à disposer de nouveaux réacteurs nucléaires dans le mix électrique à l'horizon 2050-2060 ; cet intérêt économique serait même accru si les autres pays européens rencontrent des difficultés à développer des capacités pilotables bas-carbone. Disposer de différents leviers pour accroître la production bas-carbone est par ailleurs une stratégie plus résiliente aux incertitudes qui minimise les paris technologiques⁴²⁴.

Cette performance économique sera sensible au coût de financement du nouveau nucléaire, et à la dynamique de ses coûts de construction hors financement par rapport à celle des énergies renouvelables. Ainsi, toujours selon les travaux de RTE, retenir des hypothèses de modélisation alternatives, comme une absence de réduction de coûts des futurs EPR par rapport à celui de

⁴²² 80 projets dans le monde selon l'agence internationale de l'énergie atomique, AIEA

⁴²³ Ces travaux tiennent donc compte des coûts de réseau et de flexibilité, qui dépendent du mix électrique retenu et notamment du poids des EnR électriques, comme vu précédemment.

⁴²⁴ RTE (2022), « [Futurs Énergétiques 2050](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Flamanville⁴²⁵, ou un coût moyen pondéré du capital du nouveau nucléaire à 7 %⁴²⁶, conduirait à fortement réduire les gains économiques liés à la présence de NNF dans le mix électrique, limités ainsi à 1-3 Md€ par an pour un coût total de 60-80 Md€ par an⁴²⁷.

ENCADRÉ 4

Les politiques existantes de soutien au développement des technologies de génération électrique bas-carbone

Les principales politiques publiques aujourd’hui en place pour soutenir le développement des technologies de production d’électricité bas-carbone en France sont :

- **La tarification du carbone**, qui corrige en partie les externalités climatiques engendrées par la production d’énergie (en grande majorité par les centrales thermiques fossiles). Dans le secteur « énergie et déchets », la tarification effective du carbone (comptant tous les signaux-prix, fiscaux ou équivalents, appliqués aux émissions de GES) s’élevait à 61 €/tCO₂éq en 2023, notamment grâce au système européen de quotas d’émissions (ETS1).⁴²⁸ Par ailleurs, la tarification effective du carbone pour les usages électrifiables (e.g., logement, transports) incite à leur décarbonation.
- **Les contrats sur la différence** (CfD), aujourd’hui surtout utilisés par les producteurs d’énergies renouvelables, consistent en un versement égal à la différence entre un tarif de rachat et un prix de marché de référence, généralement pendant 20 ans. Ce tarif de rachat fixe, qui réduit fortement les incertitudes (instabilité réglementaire, niveau de l’offre et de la demande à long terme), permet aux producteurs de financer leurs projets à des coûts du capital bien plus faibles ; ils sont ainsi encouragés par le règlement européen *Electricity Market Design* adopté en 2024⁴²⁹. Alternativement, les obligations d’achat jouent le même rôle⁴³⁰ pour les petites installations qui ne peuvent pas participer au marché de l’électricité.
- **Le soutien aux innovations de rupture**. Comme les autres secteurs, la production d’électricité peut bénéficier d’innovations bas-carbone aux différents niveaux de la chaîne de valeur (e.g. les réacteurs nucléaires modulaires). L’innovation bas-carbone est en proie à plusieurs défaillances de marché (cf. Chapitre 8) qui justifient une intervention publique. Le plan d’investissement France 2030 contribue à corriger les défaillances de marché liés à l’innovation bas-carbone, avec notamment un volet concernant l’innovation de rupture dans la filière nucléaire.

⁴²⁵ À hypothèse constante sur le coût des énergies renouvelables.

⁴²⁶ En maintenant l’hypothèse centrale de 4 % pour le coût moyen pondéré du capital des autres moyens de production.

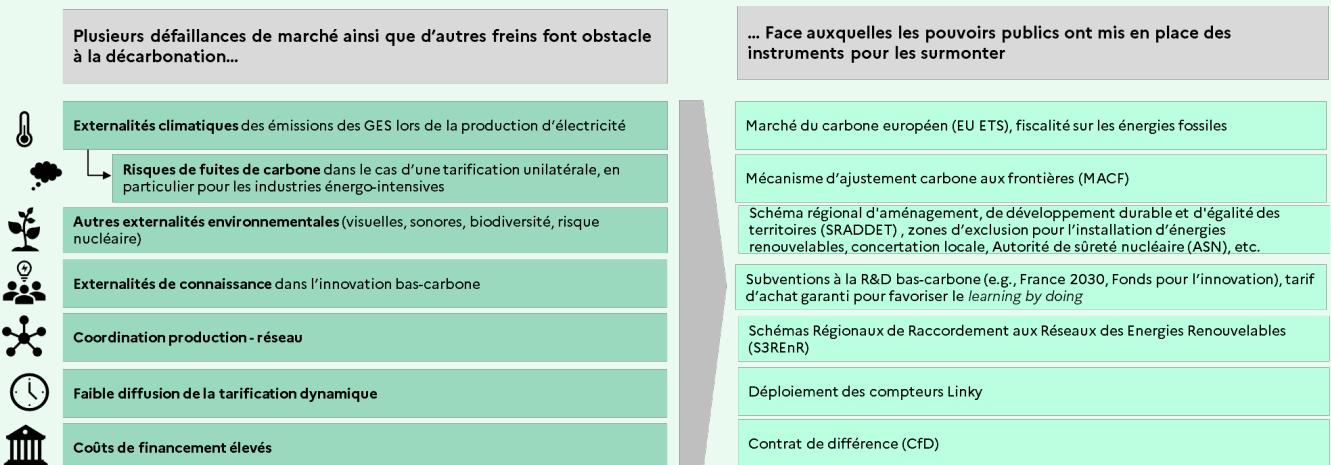
⁴²⁷ RTE (2022), *Ibid*.

⁴²⁸ CGDD (2024), « [Une tarification des émissions de gaz à effet de serre inégale selon les secteurs](#) ».

⁴²⁹ Règlement 2024/1747 modifiant les règlements 2019/942 et 2019/943 adopté en mai 2024, dit Electricity Market Design ou EMD.

⁴³⁰ Avec une obligation d’achat, un tarif de référence est défini et est directement versé aux producteurs sans participation au marché.

Graphique 7 – Synthèse des défaillances de marché et des freins à la décarbonation, et politiques publiques mises en place pour y faire face



9.1.3 La maîtrise et la flexibilité de la demande limiteraient les coûts pour le système électrique

9.1.3.1 *La maîtrise de la demande passe par l'efficacité énergétique et la sobriété, mais est parfois socio-économiquement coûteuse*

Un recours accru à la maîtrise de la demande d'électricité permettrait à horizon 2050 de réduire les coûts du système électrique de 7 à 11 Md€/an⁴³¹, mais engendre par ailleurs d'autres coûts insuffisamment mesurés. Le scénario central de RTE suppose une augmentation de 36 % de la consommation intérieure d'électricité entre 2019 et 2050, contre 17 % dans un scénario alternatif à sobriété accrue. Cette maîtrise supplémentaire de la demande permet de dimensionner à la baisse les capacités de production, via l'efficacité énergétique (diminuer la consommation d'énergie pour le même service rendu) ou la sobriété (diminution du service énergétique rendu).

Toutefois, efficacité énergétique comme sobriété ont un coût, qui peut être monétaire (investissement dans l'isolation thermique des bâtiments, ou infrastructures pour le report modal de la voiture particulière vers les transports en commun) ou non monétaire (e.g. perte de confort thermique pour la sobriété de chauffage). Dans le cas de l'efficacité énergétique, dont le coût est plus facilement mesurable car majoritairement monétaire, l'investissement nécessaire peut être plus élevé que les économies réalisées sur le système électrique, par exemple dans le domaine de la rénovation énergétique⁴³².

9.1.3.2 *Une flexibilité accrue de la demande remplace de coûteuses flexibilités de l'offre*

Accroître la flexibilité de la demande facilite le nécessaire équilibrage en temps réel entre offre et demande d'électricité, et constituerait dans certains cas une alternative au développement de capacités de production et de stockage plus coûteuses. Le critère de sécurité d'approvisionnement, fixé par les pouvoirs publics, implique que l'équilibre entre offre et

⁴³¹ RTE (2022), *Ibid*.

⁴³² Conseil d'Analyse Economique (2024) « [Analyse socio-économique de la rénovation énergétique des logements](#) », Focus n°106

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

demande ne doit être rompu que deux heures par an en espérance⁴³³. Ce critère est rendu plus difficile par l'électrification des usages, notamment au moment de la pointe électrique⁴³⁴. Ainsi, d'après RTE⁴³⁵, un scénario de développement du chauffage électrique conduisant à 11,5 millions de logements chauffés avec une pompe à chaleur en 2035 (contre 1,6 million en 2019) et plus de 50 % des surfaces chauffées à l'électricité aurait pour effet une augmentation de la pointe de 6 GW⁴³⁶ par rapport à 2019, année pour laquelle la pointe électrique était de 89 GW⁴³⁷. L'accroissement du recours à la flexibilité de la demande⁴³⁸ aurait un gain économique total pour la collectivité compris entre 100 M€ et 3,5 Md€ par an dès 2035⁴³⁹. En Allemagne, où la transition repose essentiellement sur les énergies renouvelables, les bénéfices d'une flexibilisation accrue pour le système électrique pourraient s'élever à 5 Md€ par an dès 2035⁴⁴⁰.

Aujourd'hui, le recours à la flexibilité de la demande peut encore progresser : il repose sur l'effacement pour les entreprises (report rémunéré de consommation), et sur la tarification dynamique, dont la pénétration est très faible chez les particuliers mais qui peut être facilitée par des instruments informationnels et des leviers d'automatisation (cf. Encadré 5).

ENCADRÉ 5

La tarification dynamique de l'électricité

À l'heure actuelle, la flexibilité de la demande prend des formes différentes selon les types de consommateurs. Pour les consommateurs résidentiels, la flexibilité de la demande repose essentiellement sur les options des tarifs réglementés de vente (TRV) « heures pleines/heures creuses » (HPHC)⁴⁴¹ qui incitent au décalage de la consommation, par exemple avec l'asservissement des ballons d'eau chaude, et « Tempo »⁴⁴² qui présentent un prix de l'électricité environ trois fois plus élevé que le prix du TRV classique (« Base ») 22 jours par année⁴⁴³ et incitent à de l'effacement ponctuel de consommation. Pour les industriels, l'exposition aux signaux de prix est plus généralisée et passe par une valorisation « explicite » de l'effacement sur les marchés de gros. Le secteur tertiaire, en revanche, dispose de peu d'offres incitatives à la flexibilité de la demande, et présente donc un gisement important de flexibilité sous réserve du développement d'offres adaptées.

⁴³³ RTE (2022) « Proposition pour la mise à jour du critère de sécurité d'approvisionnement du système électrique français ».

⁴³⁴ La pointe électrique correspond à un pic de demande. En France, on observe une pointe électrique hivernale (plus marquée que dans les autres pays européens, en raison de l'électrification plus importante du chauffage résidentiel) en janvier et février, ainsi qu'une pointe journalière qui se produit quotidiennement, généralement le soir entre 18 et 20 heures et plus rarement en début de matinée.

⁴³⁵ RTE (2022) « Bilan Prévisionnel 2023-2035 – Principaux résultats » et « Chapitre 10 – Volet Bâtiments ».

⁴³⁶ En intégrant des objectifs annuels de rénovation thermique des bâtiments de 320 000 rénovations par an.

⁴³⁷ RTE (2020) « Bilan électrique 2019 ».

⁴³⁸ Dans ce scénario alternatif de RTE, la flexibilité de la demande couvre 50 % du besoin intra-journalier de modulation de l'équilibre offre-demande (contre 25 % en 2023) grâce à des solutions technologiques (e.g., pilotage de la recharge des véhicules électriques, modulation des bâtiments) et une modification des comportements.

⁴³⁹ RTE (2024) « Bilan Prévisionnel 2035 », Chapitre 6 sur l'équilibre offre-demande et flexibilités. Le gain économique total pour la collectivité dépend du type de flexibilités de l'offre remplacées par la flexibilité de la demande, ainsi que de la forte incertitude sur l'évolution future du coût de ces flexibilités de l'offre.

⁴⁴⁰ Agora Energiewende (2023), « Avantages budgétaires de la flexibilité de la demande électrique ».

⁴⁴¹ Utilisé par 42 % des consommateurs résidentiels. Il y a 8 heures creuses par jour réparties sur les créneaux 12h-17h et 20h-8h et 16 heures pleines définies localement qui incluent les créneaux de 8h-12h et 17h-20h.

⁴⁴² Une autre option du tarif régulé de vente, EJP (Effacement jours de pointe) est également une offre d'effacement tarifaire indissociable de la fourniture mais ne peut plus être souscrite et est donc en voie d'extinction.

⁴⁴³ Les 22 jours d'incitation à l'effacement sont fixés selon la tension sur le système électrique.

Les offres de fourniture incitatives, notamment à l'effacement, se développent peu du fait de la complexité technique de mise en œuvre et de l'actuel faible gain économique de l'effacement en heure de pointe pour les consommateurs résidentiels et tertiaires. Ces offres induisent une complexité opérationnelle liée à la collecte et au traitement des données nécessaires pour appliquer les différents tarifs horaires. La différenciation des fournisseurs porte davantage sur le type d'énergie délivrée (par exemple, renouvelable), la simplicité des contrats et leur niveau moyen de prix, alors que les gains pour les consommateurs permis par des offres d'effacement sont relativement réduits (de l'ordre de 40 € par an⁴⁴⁴).

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) a lancé une réflexion sur une réforme des tarifs réglementés de vente, pour rendre plus incitative la tarification de l'électricité. Comme plus de 60 % des consommateurs résidentiels ont un contrat au TRV⁴⁴⁵ et que la crise des prix de l'énergie a renforcé leur attrait en tant que tarifs relativement protecteurs, ces tarifs constituent un levier important de flexibilité de la demande. La CRE s'assure régulièrement de préserver l'attractivité de l'option heures pleines/heures creuses et s'est prononcée plusieurs fois en faveur d'un renforcement du signal prix dans les offres réglementées d'EDF⁴⁴⁶. Elle publiera dans les mois à venir les conclusions d'une concertation sur les signaux tarifaires véhiculés par les TRV⁴⁴⁷, dans laquelle elle proposait des évolutions tarifaires avantageuses pour les options HPHC et Tempo par rapport à l'option Base.

9.1.4 Le coût unitaire de l'électricité produite en France, après prise en compte des coûts de réseau et d'équilibrage, pourrait augmenter

Dans un mix électrique cohérent avec la SNBC 3 et la PPE 3, les investissements du secteur seraient de l'ordre de 20 à 25 Md€/an jusqu'en 2040⁴⁴⁸. Ce chiffrage inclut les investissements dans le réseau de transport et de distribution en cohérence avec l'évolution géographique des sources de production et de consommation et des flux électriques engendrés en conséquence, ainsi que ceux liés aux capacités flexibles nécessaires à l'équilibre entre l'offre et la demande (batteries, etc.), qui dépendent du mix électrique retenu ainsi que du niveau et de la variation infra-annuelle de la consommation.

Ce scénario implique une hausse moyenne du coût de production total⁴⁴⁹ de l'électricité au MWh, d'une ampleur encore incertaine. Selon les différentes publications de RTE⁴⁵⁰, cette hausse pourrait atteindre 15 à 70 %⁴⁵¹ en 2050 par rapport à aujourd'hui (cf. Tableau 1). La répartition du coût du système électrique entre ménages, entreprises et État, ainsi que la transmission de la volatilité des prix de gros aux prix de détail, dépendront du fonctionnement des marchés de l'électricité et des politiques publiques.

⁴⁴⁴ RTE (2021), « Retour d'expérience sur le mécanisme de capacité français »

⁴⁴⁵ Commission de régulation de l'énergie (2024), « [Observatoire des marchés de détail – 2^e trimestre 2024](#) ».

⁴⁴⁶ Délibération de la Commission de régulation de l'énergie du 12 janvier 2023 portant communication sur la méthode de fixation des tarifs réglementés de vente d'électricité.

⁴⁴⁷ Consultation publique n°2023-11 du 15 novembre 2023 relative au niveau et à la structure des tarifs réglementés de vente d'électricité pour l'année 2024.

⁴⁴⁸ Trésor-Éco n°342, « [Quels besoins d'investissements pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ?](#) », avril 2024 ; RTE (2024), « Bilan Prévisionnel 2023 – Chapitre 9 Économie du système électrique » p.9 ; Enedis (2023), « Plan de développement du réseau – document préliminaire »

⁴⁴⁹ Ce coût total inclut les coûts de réseau et d'équilibrage offre-demande et les répartit sur l'ensemble de la consommation.

⁴⁵⁰ Le rapport Futurs Énergétiques 2050 (2022) calcule le coût complet du système électrique selon différentes combinaisons d'hypothèses sur l'évolution des différents coûts. Le Bilan Prévisionnel 2035 (2024) de RTE propose une actualisation du coût des technologies, qui a été sommairement étendue à l'horizon 2050.

⁴⁵¹ En coût réel, hors effet de l'inflation.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

TABLEAU 1
Les différentes projections de coût complet du système électrique (au MWh)
selon les travaux de RTE et de France Stratégie

Source	Variation de coût complet ramené au MWh produit, 2050 vs 2019 du scénario central
RTE Futurs énergétiques 2050 (2022) <i>Consommation domestique seulement (gains issus du solde extérieur dans le coût du système électrique)</i>	+0-40 %
RTE Futurs énergétiques 2050 (2022) <i>Variation du solde extérieur comptée dans la production plutôt que dans le coût</i>	+5-60 %
Actualisation DG Trésor avec les nouvelles hypothèses de coût du Bilan Prévisionnel 2035 (2024)	+15-70 %
Commission Criqui, France Stratégie (2022)	+ 15 % (relativement au contrefactuel carboné)

Note : les variantes présentées dans le rapport « *Futurs Énergétiques 2050* » de RTE comportent différentes hypothèses pour les coûts des technologies renouvelables et nucléaire, ainsi que leurs coûts respectifs du capital. Sont présentées ici les variantes de coûts du scénario N2, proche de l'option actuellement choisie. L'étude de France Stratégie ne porte pas tout à fait sur le même périmètre, puisqu'elle ne prend pas en compte les capacités productives existantes (approche « *Greenfield* »), ni le développement d'interconnexions avec l'étranger (approche « *France isolée* »).

Les volatilités infra-hebdomadaire et infra-quotidienne des prix pourraient augmenter avec l'essor des énergies renouvelables non pilotables, en l'absence de flexibilités de l'offre suffisantes. Ainsi, en Espagne la hausse de la part des EnR dans le mix électrique, de 26 à 40 % entre 2019 et 2024, aurait joué un rôle décisif dans la multiplication par cinq de la volatilité infra-quotidienne des prix de l'électricité sur les marchés de gros⁴⁵². Cependant, cette volatilité augmente la rentabilité des flexibilités de l'offre comme les batteries : leur développement atténuerait cet effet.

La décarbonation aura aussi une incidence sur la variation annuelle des prix de l'énergie, qui pourrait diminuer à horizon 2050 sous des conditions favorables. En effet, trois des déterminants actuels de ces variations seraient amenés à évoluer :

- Côté demande, la température influence la consommation de chauffage électrique qui est d'autant plus importante lorsqu'il fait froid. L'évolution des variations de consommation est difficile à prévoir avec des effets contraires, avec par exemple (i) l'électrification du chauffage à partir de pompes à chaleur qui l'accroît mais (ii) la rénovation thermique qui la diminue et (iii) le réchauffement climatique qui réduit la demande en chauffage en hiver mais peut au contraire accroître la demande en climatisation l'été, notamment durant les vagues de chaleur.
- Côté offre, le parc nucléaire, sur lequel peuvent apparaître des effets de série en cas de défaillance⁴⁵³. Avec la diminution de l'importance du nucléaire dans le mix électrique et une meilleure répartition de la date de construction des réacteurs, l'impact de telles occurrences sur les prix pourrait s'atténuer.
- La transition énergétique permettra d'améliorer plusieurs dimensions de la sécurité d'approvisionnement énergétique : les produits fossiles étant essentiellement importés, la transition bas-carbone allègera ce poste de la balance commerciale (les importations

⁴⁵² Banque d'Espagne (2024) « *The impact of renewable energies on wholesale electricity prices* », Bulletin économique 2024/Q3.

⁴⁵³ Parmi le parc nucléaire actuel, de nombreux réacteurs ont été construits à peu près au même moment et sur la base des mêmes plans. D'éventuelles défaillances sont susceptibles d'apparaître sur plusieurs réacteurs d'une même série simultanément.

de produits fossiles représentaient 75 Md€ en 2023) et réduira l'exposition de l'économie aux chocs de leurs prix, déterminés sur les marchés mondiaux⁴⁵⁴.

- Cependant, les importations en matériaux critiques pour la transition augmenteront⁴⁵⁵.

9.2 Réussir à transformer les réseaux de transport et de distribution à moindre coût

9.2.1 L'expansion du réseau électrique fait face à de forts enjeux de coordination et d'anticipation

La concentration géographique de nouveaux consommateurs d'électricité (industrie et centres de données) et le développement d'énergies renouvelables (EnR) diffuses sur le territoire nécessitent de faire évoluer la structure du réseau. Le dimensionnement du réseau d'électricité résulte des placements géographiques et temporels des injections (producteurs) et des soutirages (consommation) qui ont historiquement été liés (i) à la démocratisation de l'accès à l'électricité après la seconde guerre mondiale (développement du réseau de distribution sur lequel se raccordent les consommateurs et producteurs en basse tension) puis (ii) au développement du réseau très haute tension (réseau de transport) avec le déploiement du parc nucléaire dans les années 80-90. Dans le contexte de la transition énergétique, le réseau électrique français connaîtra une nouvelle transformation en profondeur compte tenu des besoins nouveaux de raccordement aux réseaux de distribution (éolien terrestre, solaire, recharge des véhicules électriques) et de transport (industrie, centres de données, éolien en mer).

Pour être efficace sur le plan économique, le développement du réseau doit s'effectuer de façon coordonnée avec celui des sources de production/consommation à la fois temporellement et spatialement. D'une part, les durées de développement et de vie du réseau sont généralement plus longues que celles des actifs de production/consommation, d'où la nécessité d'anticiper les investissements dans le réseau. À cela s'ajoutent des enjeux (i) de compétition pour l'achat physique des composants du réseau, les chaînes d'approvisionnement étant soumises à une forte demande mondiale et (ii) d'acceptabilité sociale des infrastructures de réseau (enjeux de même nature que ceux rencontrés par les projets de production d'énergie renouvelable, cf. Encadré 3), qui peuvent retarder leur développement. Cette inertie inhérente au développement du réseau rend sa programmation particulièrement délicate et doit être conjuguée à un dimensionnement à l'échelle locale nécessaire à l'évacuation de la production présente et future et son acheminement à chaque consommateur, en prenant en compte les risques de congestion et de surdimensionnement.

En l'absence de coordination, le réseau électrique pourrait ralentir la transition énergétique et la rendre plus coûteuse, situation d'ores et déjà rencontrée par certains de nos voisins européens. Sans transformation du réseau, le rythme de raccordement des énergies renouvelables est susceptible de ralentir (comme aux Pays-Bas, cf. Encadré 6), tout comme l'électrification des usages nécessaire à la réduction des émissions de CO₂. Cela pourrait également engendrer la formation de congestions locales conduisant à une désoptimisation de la production dont le coût s'élève en Allemagne à plus de 4 Md€ chaque année (cf. Encadré 6). Si une telle situation ne concerne pas actuellement le réseau français, la hausse des capacités EnR en attente de raccordement, les puissances des projets de consommation (industrie et centre de données) en attente d'instruction pour leur raccordement ainsi que les mesures exceptionnelles de réduction

⁴⁵⁴ Cf. par exemple Dolphin, Duval, Rojas-Romagosa et Sher (2024), qui montre que la transition énergétique est une occasion unique pour l'Europe de renforcer à moyen terme sa sécurité énergétique. « [The Energy Security Gains from Strengthening Europe's Climate Action](#) ».

⁴⁵⁵ Cf. par exemple le chapitre 1 du [Rapport intermédiaire sur les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone](#) (DG Trésor, 2023).

des exportations au printemps 2024⁴⁵⁶ révèlent la nécessité d'une hausse des investissements dans le réseau électrique. Ces problématiques sont prises en compte par la CRE dans l'élaboration du prochain tarif d'utilisation des réseaux (TURPE 7)⁴⁵⁷.

ENCADRÉ 6

Exemples étrangers de difficultés de coordination entre développement du réseau électrique et sources de production et consommation

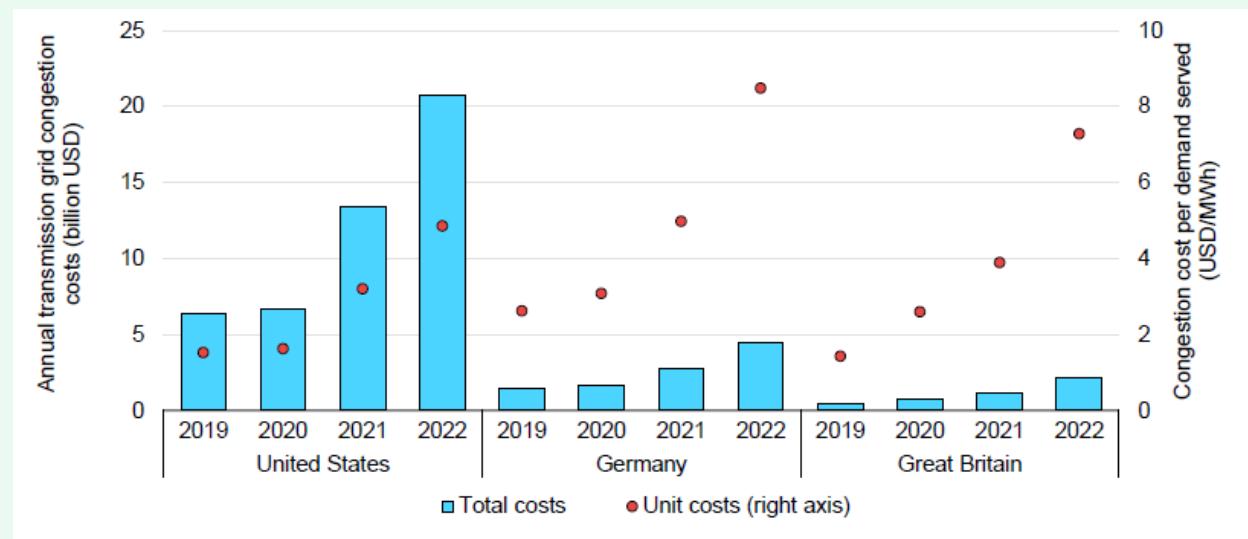
Au Pays-Bas, le développement du réseau électrique a du mal à suivre le rythme de l'électrification de la consommation énergétique du pays, ce qui représente un frein pour la transition. Au niveau national, 9 400 entreprises étaient sur liste d'attente pour un raccordement en février 2024, contre 6 000 à l'été 2023. Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité Tennet a annoncé en juillet 2023 l'atteinte de la capacité maximale du réseau électrique haute tension (HT) dans plusieurs provinces, y suspendant tout nouveau raccordement. Une loi sur l'énergie, adoptée en juin 2024, entérine et poursuit différentes mesures palliatives, comme (i) le raccourcissement des procédures administratives et des autorisations pour l'évolution du réseau, ou (ii) le lancement d'enchères (appels d'offres de flexibilité) permettant aux entreprises, telles que les opérateurs de batteries, d'offrir de l'espace sur le réseau pour une période plus longue à des endroits stratégiques pendant les périodes de pointe.

Plusieurs pays présentent une augmentation rapide des coûts liés à la formation de congestions locales du réseau électrique (cf. Graphique 8). Les congestions sur le réseau sont le résultat de la limitation physique de transit d'un réseau sous-dimensionné par rapport au besoin d'évacuation de la production et d'acheminement vers les consommateurs. L'apparition de congestions en Allemagne s'explique par le retard de la mise en œuvre de son plan de restructuration du réseau, qui ne sera opérationnel qu'à la fin de la décennie 2020 alors que l'appareil de production d'électricité allemand a été modifié beaucoup plus rapidement au cours de la même période. Ainsi, le réseau allemand est actuellement faiblement développé entre le nord et le sud alors que les sources de consommation (industrie) se situent davantage au sud et celles de production (EnR) au nord. Les coûts générés sont la somme du coût de l'écrêtement des énergies renouvelables (qui font l'objet d'une compensation obligatoire en Europe depuis 2019) et des capacités réservées et activées pour fournir l'électricité manquante. D'après l'agence fédérale allemande des réseaux (Bundesnetzagentur, BNetzA), ces coûts s'élèveront entre 3,5 Md€ en 2025 et 4,5 Md€ en 2028. Ces surcoûts sont couverts par le tarif d'utilisation des réseaux qui est ensuite répercuté aux consommateurs.

⁴⁵⁶ RTE (2024) « [Bilan électrique du premier semestre 2024](#) ».

⁴⁵⁷ CRE (2024) « [Consultation sur le TURPE 7, octobre 2024](#) ».

GRAPHIQUE 8
Coûts annuels de gestion des congestions pour les États-Unis, l'Allemagne et le Royaume-Uni



Source : IEA (2023), *Electricity Grids and Secure Energy Transitions*

La planification, les dispositifs informationnels et les signaux-prix constituent les principaux outils pour anticiper et assurer ce besoin de coordination. La planification géographique du développement des énergies renouvelables terrestres⁴⁵⁸ en France s'inscrit dans le cadre des schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR) – avec un rôle décisionnel des préfets de région – tandis que le développement de la consommation est anticipé notamment au sein des bassins industriels. De cette planification résulte une mutualisation des investissements dans le réseau qui est répercutée via une quote-part aux nouveaux arrivants, constituant ainsi un signal-prix incitant à la localisation dans les zones géographiques disposant de davantage de capacités d'accueil. De plus, des dispositifs informationnels visent à renseigner sur les capacités de raccordement disponibles et les contraintes de congestions.

Face à la nécessité d'accélérer le développement du réseau, ces dispositifs pourraient être complétés par une politique d'« offre » pour mieux anticiper les besoins futurs. Dans la lignée de la loi d'accélération de la production d'énergies renouvelables (APER), une plus forte anticipation implique de passer d'une logique de « demande » à une politique d'« offre » de réseau : plutôt que d'adapter le réseau « au fil de l'eau », après l'arrivée de nouveaux projets d'installations de production⁴⁵⁹, des investissements seraient effectués au sein de zones prioritaires, vers lesquelles seraient ensuite fléchées les nouvelles installations de production. En Allemagne, pour pallier les effets du déploiement trop lent du réseau, les appels d'offres pour de nouveaux moyens de production sont régionalisés et certains économistes plaident pour l'introduction de différentes zones de prix de marché de l'électricité par région⁴⁶⁰, comme c'est le cas en Italie et dans les pays scandinaves. Cela permet (i) de mieux intégrer les contraintes de congestion interne dans les équilibres de marché et (ii) de révéler, par les différentiels de prix entre zones, la valeur à l'investissement dans le réseau. En théorie, l'optimum économique serait de définir un prix par

⁴⁵⁸ Le développement des éoliennes en mer est intégré au sein des documents stratégiques de façades.

⁴⁵⁹ Stratégie qui aurait pu être source de surcoûts pour la collectivité.

⁴⁶⁰ Frankfurter Allgemeine (2024) « [Der deutsche Strommarkt braucht lokale Preise](#) »

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

nœud du réseau électrique (prix nodaux) comme cela peut être le cas aux États-Unis⁴⁶¹. Cependant, cette solution peut être délicate à implémenter en pratique^{462,463}.

9.2.2 Le réseau électrique doit s'adapter aux effets du changement climatique

La disponibilité du réseau électrique sera affectée à la fois par la hausse tendancielle des températures et des phénomènes climatiques extrêmes croissants, comme les feux de forêt et de végétation, les inondations et les tempêtes. La température extérieure influence la capacité de transit des lignes aériennes qui est limitée par le phénomène d'échauffement qui dilate les câbles et les rapproche du sol⁴⁶⁴. Les incendies de forêt et de végétation peuvent endommager les ouvrages aériens ou nécessiter des coupures du réseau afin de permettre l'intervention des moyens de lutte contre les incendies. Les inondations par débordement et ruissellement peuvent endommager les ouvrages situés à proximité des fleuves⁴⁶⁵ tandis que les tempêtes⁴⁶⁶ peuvent faire tomber directement ou via la chute d'arbres les lignes aériennes. Ces risques peuvent se cumuler et leurs conséquences se propager spatialement et ainsi porter préjudice à d'autres infrastructures de réseau dépendantes de l'électricité.

Le cadre de régulation du réseau électrique permet de mettre en œuvre une démarche d'adaptation anticipative, constituant ainsi un exemple pour d'autres secteurs. Si les premières mesures d'adaptation du réseau répondaient aux vulnérabilités révélées par les évènements climatiques extrêmes passés (tempêtes de 1999 et canicule de 2003), des travaux prospectifs plus récents intègrent le changement climatique de façon systémique. Les investissements des gestionnaires de réseau en situation de monopole naturel faisant l'objet d'un cadre pluriannuel régulé, ils intègrent une logique d'adaptation anticipative (e.g. enfouissement des lignes basse tension⁴⁶⁷), importante pour ces actifs à longue durée de vie. Cette logique est ainsi prévue par le projet de troisième Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) et le prochain cadre tarifaire des gestionnaires de réseau. Si le coût associé n'est pas encore établi, l'4CE évalue entre 200 et 400 M€/an le surcoût de l'intégration de l'adaptation dans les investissements prévus (3 à 6 % des dépenses d'investissement des gestionnaires de réseau)⁴⁶⁸. En revanche, compte tenu de la régulation des opérateurs de réseau sous forme de base d'actifs régulés⁴⁶⁹, le risque d'une sur-adaptation, coûteuse en CAPEX et *in fine* répercutée aux consommateurs d'électricité via le tarif d'utilisation du réseau d'électricité, ne peut être exclu.

Le changement climatique rendra également plus difficile l'adéquation entre l'offre et la demande électrique en période estivale, a priori sans aller jusqu'à menacer la sécurité d'approvisionnement. Les périodes de canicule et de sécheresse auront pour effet (i) une hausse de la consommation sous l'effet du recours à la climatisation, engendrant un transfert partiel de la pointe hivernale vers la pointe estivale, (ii) une baisse de la disponibilité nucléaire et de la production hydraulique⁴⁷⁰ et (iii) un accroissement du risque d'indisponibilité du réseau décrit précédemment. Néanmoins, les analyses disponibles à ce jour ne montrent pas un accroissement significatif du risque pour la sécurité d'approvisionnement électrique au niveau national en été

⁴⁶¹ Léautier, T. O. (2019) « [Imperfect markets and imperfect regulation: An introduction to the microeconomics and political economy of power markets](#) », MIT Press.

⁴⁶² Antonopoulos, G., Vitiello, S., Fulli, G. and Masera, M. (2020) « [Nodal pricing in the European internal electricity market](#) », European Commission: Joint Research Centre Publications Office.

⁴⁶³ Eicke, A., & Schittekatte, T. (2022) « [Fighting the wrong battle? A critical assessment of arguments against nodal electricity prices in the European debate](#) », Energy Policy.

⁴⁶⁴ RTE (2024) « Consultation publique du Schéma décennal de développement du réseau », document B.

⁴⁶⁵ Premières conclusions de l'étude de la caisse centrale de réassurance sur le risque inondation. Le nombre de postes exposés au risque de submersion marine resterait faible.

⁴⁶⁶ En France métropolitaine, il n'y a toutefois pas de lien établi entre changement climatique et tempêtes, selon Météo France (2023) « [Tempêtes et changement climatique](#) ».

⁴⁶⁷ À titre d'exemple, la mise en souterrain de l'ensemble du réseau de distribution coûterait 170 Md€.

⁴⁶⁸ l4CE (2022) « [Se donner les moyens de s'adapter aux conséquences du changement climatique](#) ».

⁴⁶⁹ Les gestionnaires de réseau de transport et de distribution, en monopole naturel, sont rémunérés sur la base des investissements qu'ils réalisent, pour maximiser leur efficacité. Ces investissements sont contrôlés par la CRE.

⁴⁷⁰ Cour des comptes (2024) « L'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

étant donnée la croissance attendue de la production solaire, particulièrement abondante en été, et de la disponibilité estivale des capacités de production flexibles construites pour le passage de la pointe hivernale⁴⁷¹. Le risque en été devra être surveillé afin de poursuivre les maintenances à cette période, indispensables au fonctionnement à pleine capacité en hiver.

⁴⁷¹ RTE (2022) « [Futurs énergétiques 2050](#) », chapitre n°8 « Climat ».

10 Les enjeux économiques de la décarbonation du transport de voyageurs

Messages-clés

Le secteur des transports représente plus du tiers des émissions territoriales de la France, principalement dues au transport routier, et doivent baisser à un rythme soutenu, bien supérieur à celui observé ces dernières années, pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

- La décarbonation des transports passe par un ensemble de leviers, et comprend la décarbonation des moyens de transport, notamment individuels (e.g. électrification du parc automobile), l'efficacité énergétique (e.g. amélioration des moteurs des véhicules), les actions de sobriété (e.g. réduction du nombre ou de la portée des déplacements, télétravail), l'augmentation du taux de remplissage des moyens de transport (e.g. covoiturage), et le report modal vers des modes moins carbonés (e.g. transports collectifs, vélo).
- Les émissions du transport de voyageurs⁴⁷², qui représentent 60 % des émissions du transport, peuvent être décomposées comme le produit de (1) la population, (2) la distance parcourue par habitant, (3) la structure modale, (4) l'intensité énergétique (efficacité énergétique et taux de remplissage) et (5) le contenu carbone de l'énergie.
- Les émissions territoriales dans le secteur des transports n'ont que très peu diminué ces dernières années (-0,4 %/an sur 2010-2022) : la baisse des émissions liée à l'amélioration du contenu carbone de l'énergie et de l'efficacité énergétique a été partiellement compensée par la hausse de demande, tandis que la structure modale est restée stable. Les émissions du secteur aérien international ont connu une hausse continue de 1990 à 2019, avant de chuter de 57 % en 2020 avec la crise sanitaire. Elles restaient en 2023 encore inférieures au niveau de 2019 mais avaient repris leur dynamique haussière.
- La décarbonation du secteur routier, qui représente 95 % des émissions territoriales des transports, passera par d'importants investissements, en premier lieu dans l'électrification du parc automobile. Les besoins d'investissements bruts supplémentaires par rapport à 2021, hors infrastructures de transport collectif, s'élèvent à +43 Md€/an en 2030, essentiellement pour l'acquisition de voitures particulières bas carbone (+27 Md€/an)
- La rentabilité privée des véhicules électriques pour les ménages (c'est-à-dire l'écart de coûts d'acquisition et d'usage par rapport aux véhicules thermiques) s'est améliorée au cours des dernières années, et cette tendance devrait se poursuivre à l'avenir. Le rythme d'électrification des flottes d'entreprise en 2024 est néanmoins inférieur à celui attendu. Un soutien public et des mesures réglementaires devraient rester pertinents, notamment pour lever des biais comportementaux ou autres barrières, ou répondre aux contraintes de financement des ménages modestes.
- La transition bas-carbone des transports nécessitera également des investissements importants dans les infrastructures, pour les transports en commun et, dans une moindre

⁴⁷² Ce chapitre se concentre principalement sur la décarbonation du transport de voyageurs, bien que certaines analyses puissent être étendues au transport de marchandises.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

mesure, pour les modes actifs (pistes cyclables par exemple), mais leur ampleur est difficile à évaluer.

- Des solutions de décarbonation dans certains sous-secteurs difficiles à électrifier (e.g. carburants alternatifs pour l'aviation) restent encore coûteuses et peuvent générer des risques environnementaux ainsi que des conflits d'usage (e.g. hiérarchisation des usages de la biomasse ou de l'électricité pour les carburants alternatifs).

La décarbonation des transports s'appuie sur la tarification des externalités climatiques, à articuler avec celle des externalités non climatiques, et peut nécessiter le recours à des instruments complémentaires pour dépasser certains freins ou accompagner les ménages.

- Dans l'ensemble, la plupart des modes de transport carbonés disposent d'une forme de tarification des émissions de gaz à effet de serre, à l'exception de l'aviation internationale : les niveaux actuels de tarification effective du carbone sont ainsi hétérogènes, entre 0 (aviation internationale) et 249 €/tCO₂éq (transport routier pour les ménages) en 2024. Cette hétérogénéité s'explique en partie car certains secteurs sont soumis à la concurrence internationale, ce qui nécessite des actions coordonnées entre pays.
- La tarification carbone effective du secteur du transport, en moyenne plus élevée que dans d'autres secteurs, se justifie aussi par l'existence d'autres externalités (e.g. pollution de l'air, accidents, bruit). La tarification des externalités du transport routier permet une couverture large des coûts externes climatiques et non climatiques générés (pollution de l'air, accidents), avec un taux de couverture de 90 % en 2020 (hors externalités de congestion). La tarification de l'aérien est très insuffisante, avec un taux de couverture de 25 % en moyenne en 2022. À politiques inchangées, ces taux de couverture sont par ailleurs amenés à se dégrader avec la hausse de la Valeur de l'Action pour le Climat.
- Les dispositifs européens sur les véhicules (comme les normes d'émissions de CO₂ des véhicules et l'interdiction de vente de véhicules thermiques légers neufs à partir de 2035) fournissent un cadre contraignant. Ils ne garantissent néanmoins pas le respect de la trajectoire française (prévue par la SNBC) et n'organisent pas l'accompagnement des acteurs, ce qui justifie une action supplémentaire au niveau français.
- Des instruments complémentaires tels que les subventions à l'alternative bas-carbone, peuvent servir à accompagner la transition, la rendre plus accessible pour les ménages et prévenir les fuites de carbone pour les entreprises (dans le cas du transport routier par exemple). Les études disponibles sur la France estiment qu'une augmentation du bonus à l'acquisition des véhicules électriques de 1000 € accroît la part de marché des véhicules électriques dans les immatriculations de 1,2 à 2,5 points de pourcentage. Ils ne peuvent toutefois pas se substituer à la tarification carbone.

La puissance publique peut maîtriser la demande de transport via l'aménagement du territoire, et doit s'assurer de la bonne tarification des différents modes de transport pour permettre un report modal efficace. L'aménagement du territoire, pour beaucoup à la main des collectivités territoriales, peut contribuer à la décarbonation :

- D'une part via les infrastructures de transport en commun (nouvelles infrastructures mais aussi régénération et modernisation des infrastructures existantes) pour peu que des mesures parallèles de limitation de la voiture individuelle soient menées. Pour autant, la rentabilité socio-économique des infrastructures de transport, incluant la valorisation des externalités climatiques, doit donc être évaluée au cas par cas. Dans certains cas, les coûts environnementaux et financiers associés ne sont pas justifiés par les gains économiques liés à l'augmentation de la demande et les réductions d'émissions permises par le report modal et le taux de remplissage des transports en commun que ces infrastructures permettent.

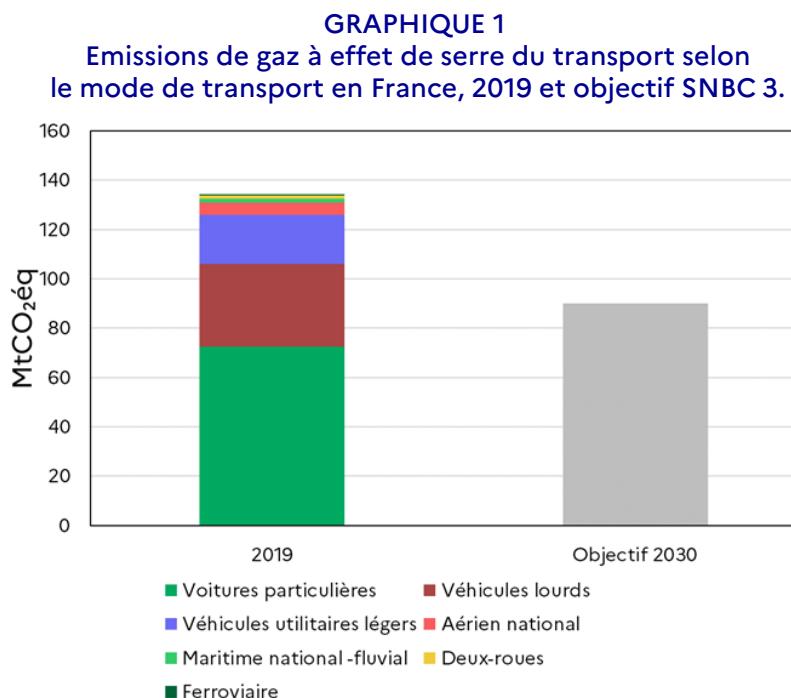
Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- D'autre part via la densification – et donc la lutte contre l'étalement urbain –, qui permet de limiter la demande de transport. La densification a en outre des co-bénéfices (moindre artificialisation notamment), même si une densification excessive peut générer des externalités négatives.

10.1 Les émissions du transport, qui ont peu baissé historiquement, doivent diminuer à un rythme soutenu pour atteindre les objectifs de décarbonation

10.1.1 Les émissions du transport doivent baisser pour atteindre les objectifs fixés par la planification écologique

Le secteur des transports représente plus du tiers des émissions territoriales de la France, principalement dues au transport routier (cf. Graphique 1)⁴⁷³. Les transports routiers contribuent à la quasi-totalité (95 % en 2021⁴⁷⁴) des émissions territoriales du secteur des transports. Les émissions liées à la circulation routière incombent majoritairement aux voitures particulières (52 % en 2021), aux véhicules lourds⁴⁷⁵ (27 %) et aux véhicules utilitaires légers (18 %). Les émissions du transport de personnes (territoriales et internationales) de la France sont à 60 % générées par des déplacements sur des courtes distances (inférieures à 80 km) et à 40 % générées par des déplacements sur de longues distances⁴⁷⁶.



Source : [Émissions de gaz à effet de serre du transport / Chiffres clés transports 2023](#)

Dans l'ensemble, les émissions dans le secteur des transports n'ont que très peu diminué ces dernières années⁴⁷⁷ : sur la période 2010-2019, la baisse des émissions liée à l'amélioration du contenu carbone de l'énergie (-3 %) et à l'efficacité énergétique (-8 %) a été partiellement

⁴⁷³ Citepa (2024), « Émissions de gaz à effet de serre en France – données Secten »

⁴⁷⁴ SDES (2023), « [Émissions de gaz à effet de serre du transport](#) ».

⁴⁷⁵ Les véhicules lourds incluent les poids lourds, les cars et les bus.

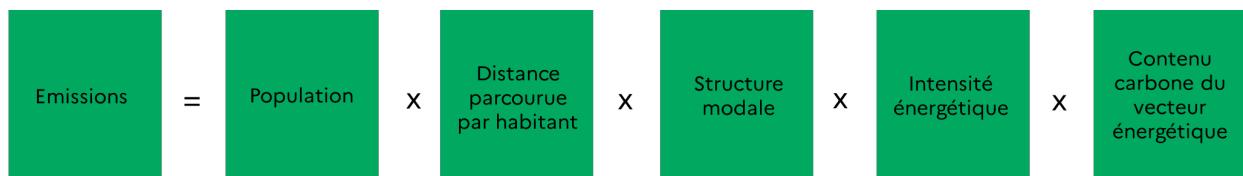
⁴⁷⁶ ART (2022), « [État des lieux des mobilités courte et longue distance \(volume 2\) : Evolutions des mobilités depuis 2008 et pendant la crise sanitaire au regard de leur impact environnemental](#) »

⁴⁷⁷ -0,4%/an en taux moyen de baisse sur 2010-2022 (-0,9 %/an avec les soutes internationales) d'après les données Citepa.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

compensée par la hausse de demande (+8 %), tandis que la structure modale est restée stable⁴⁷⁸. Les émissions du trafic aérien international ont connu une hausse constante de 1990 à 2019, avant de chuter de 57 % en 2020 avec la crise sanitaire ; depuis, elles sont reparties à la hausse, progressant de 16 % en 2023 par rapport à 2022, tout en restant encore 15 % inférieures aux niveaux de 2019.

GRAPHIQUE 2
Équation de Kaya pour les émissions de GES du transport de voyageurs



La France s'est fixé des objectifs ambitieux avec l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050. Au niveau européen, les émissions du transport doivent baisser de 92 % en 2050 par rapport à 2005 (ou -90 % par rapport à 1990). La précédente Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC 2) prévoit une réduction des émissions du secteur pour atteindre 99,4 MtCO₂éq en 2030 (-20 % par rapport à 1990), correspondant à une diminution de -2,6 % par an entre 2021 et 2030. Le projet de SNBC 3⁴⁷⁹ porte les émissions des transports à 90 MtCO₂éq en 2030 (-27 % par rapport à 1990), correspondant à une baisse de -3,8 % par an entre 2021 et 2030.

La décarbonation des transports passe par un ensemble de leviers (cf. Graphique 2), et comprend la décarbonation des vecteurs énergétiques (e.g. électrification du parc automobile), l'efficacité énergétique (e.g. amélioration des moteurs ou baisse de la masse des véhicules), les actions de sobriété (e.g. réduction du nombre ou de la portée des déplacements, télétravail), l'augmentation du taux de remplissage des transports (e.g. covoiturage), et le report modal vers des modes moins carbonés (e.g. transports collectifs, vélo). La planification écologique prévoit des objectifs liés à la mobilisation de certains leviers de décarbonation au sein du transport, tels l'objectif de 40 % de véhicules bas carbone dans le parc roulant en 2030 et 70 % en 2050 dans les flottes d'entreprises, ou le doublement de la part modale du fret ferroviaire entre 2019 et 2030 inscrit dans la Loi Climat et Résilience. Par ailleurs, le projet de SNBC 3 s'appuie sur un triplement de la part modale du vélo, ainsi qu'une augmentation de la part modale des transports collectifs de 17 % en 2019 à 20 % en 2030. Pour le vélo, les tendances sont favorables depuis 2019, avec une hausse de 37 % des déplacements entre 2019 et 2023 à l'échelle nationale⁴⁸⁰.

10.1.2 L'électrification des voitures constitue un levier important de la planification écologique

Dans le transport routier, la voiture électrique constitue un levier important de la planification écologique, et la part de marché des voitures électriques a augmenté au cours des dernières années. Même en doublant la part modale des transports collectifs et modes actifs (actuellement 15 % pour les déplacements courte distance, 20 % pour les déplacements longue distance⁴⁸¹), les voitures particulières représenteraient toujours la majorité des kilomètres parcourus, ce qui souligne l'importance de l'électrification de celles-ci pour décarboner le secteur. La part de voitures électriques vendues a augmenté au cours des dernières années, quoiqu'elle ait stagné en

⁴⁷⁸ Service des données et études statistiques (SDES) (2022), « [Les facteurs d'évolution des émissions de CO₂ liées à l'énergie en France de 1990 à 2020](#) », p.23.

⁴⁷⁹ Publié dans le cadre de la concertation conduite entre le 4 novembre et le 16 décembre 2024 : [Les grands enjeux de la SNBC 3 | Décarboner la France : votre voix compte !](#)

⁴⁸⁰ Vélo & territoires (2024), [Analyse des données de fréquentation cyclable 2023](#)

⁴⁸¹ ART (2022), « [État des lieux des mobilités courte et longue distance \(volume 2\) : Evolutions des mobilités depuis 2008 et pendant la crise sanitaire au regard de leur impact environnemental](#) ». Les déplacements courte distance sont ceux dont la distance est inférieure à 80 km.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

2024. Les voitures électriques représentent 17 % des voitures neuves vendues en France. Ce taux est plus faible pour les entreprises (12 % en 2023) que pour les ménages (22 % en 2023).

L'attractivité économique des voitures électrique devrait continuer à s'améliorer avec le développement d'une offre de nouveaux modèles plus performants et accessibles, en lien avec la baisse du coût des batteries. Le prix moyen des batteries, qui représentait près de 57 % du prix d'achat d'un véhicule en 2015, a baissé de 90 % entre 2010 et 2020^{482,483}, et cette tendance baissière pourrait se poursuivre (des projections anticipent -30 % à -50 % en 2030 par rapport à 2022⁴⁸⁴, mais sont incertaines). En parallèle, l'autonomie des batteries a augmenté, tout comme le nombre de bornes de recharge, rendant ainsi l'adoption d'une voiture électrique plus aisée pour les ménages. Selon une enquête de l'OCDE, augmenter de 100 km l'autonomie de la batterie d'un véhicule électrique permettrait d'augmenter de 1,5 point de pourcentage la probabilité qu'il soit choisi par un ménage français par rapport à un véhicule thermique⁴⁸⁵. Au-delà, l'effet de l'autonomie de la batterie pourrait être non linéaire mais reste incertain. Par ailleurs, la production de batterie soulève des enjeux d'approvisionnement en minéraux stratégiques (cf. Encadré 1). L'offre de nouveaux modèles plus performants et plus accessibles est amenée à se développer à l'avenir, soutenue par le renforcement des objectifs européens en matière d'émissions des véhicules vendus (cf. *supra*).

Pour un grand nombre d'usages, le véhicule électrique est déjà rentable d'un point de vue privé par rapport à son équivalent thermique. Avec un bonus de 4 000 € (aides en vigueur en 2024 pour un ménage aisé), l'acquisition d'un véhicule électrique neuf au lieu d'un véhicule thermique est rentable en 12 ans pour un véhicule parcourant 13 000 km/an⁴⁸⁶. Les différents cas-types de ménages présentés dans le Chapitre 6 permettent aussi d'illustrer la disparité de la rentabilité selon les usages.

ENCADRÉ 1

Besoin en minéraux stratégiques pour les véhicules électriques

La sécurisation de l'approvisionnement en minéraux et métaux stratégiques sera essentielle pour la transition bas-carbone⁴⁸⁷. Les objectifs de production mondiale de voitures électriques devraient se traduire par une très forte augmentation de la demande pour ces minéraux sur les vingt prochaines années⁴⁸⁸ et une hausse induite de leurs cours. Ainsi, la disponibilité des minéraux est identifiée comme un des principaux risques pesant sur les objectifs de production de batteries en Europe⁴⁸⁹, dans un contexte de concurrence accrue des États-Unis et de domination de la Chine dans de nombreux maillons de la chaîne de valeur de la production de batteries (notamment la transformation de minéraux).

⁴⁸² Bloomberg New Energy Finance (2019), "[Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \\$156/kWh In 2019](#)"

⁴⁸³ Selon Bloomberg New Energy Finance, la part du coût moyen de la batterie dans le coût d'achat total d'une voiture américaine de taille moyenne serait de 33 % en 2019 (contre 57 % en 2015), cf. Bloomberg New Energy Finance (2019), [Bullard: Electric Car Price Tag Shrinks Along With Battery Cost](#). En 2020, la batterie proposée avec une Renault Zoé représentait 25 % de son coût d'achat.

⁴⁸⁴ [BloombergNEF \(2022\)](#) ; [Goldman Sachs \(2023\)](#)

⁴⁸⁵ OECD (2024), « Household transport choices: new empirical evidence and policy implications for sustainable development »

⁴⁸⁶ Cette distance correspond à la distance médiane parcourue par un véhicule selon les [Données issues de l'Enquête Mobilité des Ménages \(2019\)](#)

⁴⁸⁷ Aubert. A, Zoghely S., Le Guennec X. (2024), « [Les minéraux dans la transition énergétique](#) » Trésor-Éco n° 351

⁴⁸⁸ Selon l'Agence Internationale de l'Energie, la demande mondiale pour la transition environnementale pourrait être multipliée jusqu'à 42 entre 2024 et 2940 pour le lithium, 25 pour le graphite et 21 pour le cobalt et le nickel.

⁴⁸⁹ Selon une [étude de la Fédération Européenne pour le Transport et l'Environnement de 2023](#), 68 % de la capacité de production de batteries planifiée en Europe est exposée à un risque de report, de réduction ou d'annulation.

Cinq minéraux spécifiques apparaissent stratégiques pour la production de batteries pour voitures électriques en l'état actuel des technologies : le lithium (les batteries à base de lithium sont les plus répandues pour les véhicules particuliers), le graphite, le cobalt, le nickel et le manganèse.

La Délégation interministérielle aux approvisionnements en minéraux et métaux stratégiques (DIAMMS) au niveau français, et le Critical Raw Material Act au niveau européen, visent à sécuriser l'approvisionnement de ces minéraux.

Au niveau national et communautaire, la modération de la demande via le recyclage serait un levier pour limiter aussi les besoins en importations en minéraux stratégiques. Deux études⁴⁹⁰ soulignent que le recyclage permettrait de fortement limiter la dépendance française à l'importation de métaux et minéraux critiques pour la transition. L'inclusion de critères d'éco-conception dans les véhicules mis sur le marché, et particulièrement dans leurs batteries, pourrait permettre de favoriser le recyclage.

10.1.3 Le développement de carburants non fossiles peut notamment contribuer à la décarbonation du secteur aérien, mais soulève des enjeux de coût et de bouclage.

Le recours aux carburants non-fossiles permet de diminuer les émissions de CO₂ par rapport aux carburants fossiles, mais génère un surcoût. Les biocarburants sont déjà utilisés pour réduire les émissions du secteur routier et leur incorporation est encadrée par la directive européenne « RED3 » mais leur potentiel est fortement limité en comparaison du levier de l'électrification. Les biocarburants avancés et les e-carburants⁴⁹¹ sont amenés à jouer un rôle important dans la décarbonation du secteur aérien, et leur incorporation est encadrée par la Directive Européenne ReFuel. Les biocarburants présentent un surcoût modéré par rapport aux carburants fossiles (cf. Graphique 3 pour le cas du biodiesel). Par ailleurs, la production industrielle et la commercialisation de e-kérosène sont encore inexistantes à l'heure actuelle : compte-tenu des technologies actuelles le prix de revient du e-kérosène serait 10 fois supérieur à celui du kérosène en Europe⁴⁹².

À l'horizon 2050, les études prospectives envisagent une baisse des coûts de production des carburants non fossiles. Cependant, cette réduction reste incertaine, et le surcoût par rapport au carburant fossile pourrait demeurer significatif. Les coûts des e-kérosènes, tout comme ceux des biokérosènes devraient diminuer à mesure que les technologies se développent⁴⁹³. Par exemple, le coût de production de l'e-kérosène en Europe, actuellement estimé à 2,8 €/L, pourrait être divisé par deux selon l'ICCT⁴⁹⁴. Le surcoût pourrait rester important en France, même à long terme, une fois la technologie arrivée à maturité⁴⁹⁵. L'évolution de ces coûts demeure très incertaine et dépendra de plusieurs facteurs, tels que l'offre et la demande en carburants non fossiles dans les différents secteurs, le rythme des progrès techniques, le coût de la biomasse, et surtout le coût de l'électricité bas-carbone, indispensable à la production des e-carburants.

⁴⁹⁰ Ledoux, E., Chardon, A. (2022), « Stratégie nationale bas-carbone sous contrainte de ressources – Une approche intégrée de la transition bas-carbone circulaire » - Rapport final. INEC, Capgemini Invent ; CGDD (2023) « Les ressources minérales critiques pour les énergies bas-carbone Chaînes de valeur, risques et politiques publiques », partie II

⁴⁹¹ Carburants de synthèse produits à partir d'hydrogène et de CO₂, en utilisant de l'électricité.

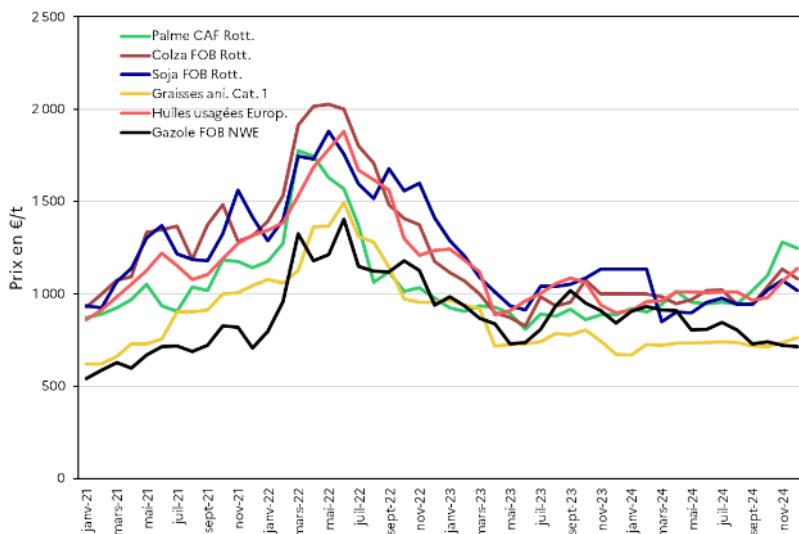
⁴⁹² [ICCT \(2022\)](#) ; [EASA \(2024\)](#)

⁴⁹³ Transport & Environnement (2023), "[Analysing the costs of hydrogen aircraft](#)"

⁴⁹⁴ [Current and future cost of e-kerosene in the United States and Europe - International Council on Clean Transportation](#)

⁴⁹⁵ Académie des technologies (2023) "[La décarbonation du secteur aérien par la production de carburants durables](#)"

GRAPHIQUE 3
Prix de marché du diesel (gazole) et des biodiesels



Source : *La dépêche – le petit Meunier et SquareCo*.

Note : le prix du diesel, en noir, est inférieur à celui des biodiesels par unité de masse. Par ailleurs, la densité énergétique du gazole est plus élevée de l'ordre de 10 %⁴⁹⁶ que celle de la plupart des biodiesels, à l'exception des diesels hydrotraités, ce qui renchérit d'autant plus le prix de ces carburants par unité d'énergie.

Le développement des carburants non fossiles présente cependant des risques sur la hiérarchie d'usage des ressources (biomasse). Les biocarburants dits de première génération entrent en compétition avec la production alimentaire. Pour produire l'ensemble des carburants actuellement consommés en France, il faudrait plus de 20 Mha, soit 80 % de la surface agricole utile⁴⁹⁷ ou 140 % de la surface de culture. Un recours accru aux biocarburants de première génération pourrait engendrer des effets inflationnistes sur les denrées alimentaires en concurrence⁴⁹⁸, c'est pourquoi la directive européenne RED3 prévoit d'en limiter l'usage, et ils ne sont pas considérés comme des carburants d'aviation durable. Les biocarburants avancés, produits à partir de déchets agroalimentaires et de bois, sont à privilégier, mais pourraient nécessiter d'importantes importations, le gisement national étant limité. Le recours aux e-carburants (produits à partir d'électricité décarbonée) peut également générer des tensions sur le système électrique, et doit s'articuler avec les autres usages de l'électricité. Par exemple, le remplacement de la moitié de la consommation énergétique du secteur aérien français⁴⁹⁹ par des e-kérosènes nécessiterait des besoins en électricité équivalents à 20 à 40 % de la production électrique française actuelle⁵⁰⁰. Ces contraintes invitent à maîtriser dès maintenant la demande pour ce transport, comme le prévoit le projet de SNBC 3⁵⁰¹, dans laquelle 30 % de la hausse tendancielle de la demande de transport aérien d'ici 2030 est réduite via des actions de sobriété.

⁴⁹⁶ Cour des Comptes (2016), « [Les biocarburants : des résultats en progrès, des adaptations nécessaires](#) »

⁴⁹⁷ La surface agricole utile est composée de l'ensemble des terres arables (grandes cultures, cultures maraîchères, prairies artificielles, ...), surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages) et cultures pérennes (vignes, vergers, ...).

⁴⁹⁸ Cour des Comptes (2021), « La politique de développement des biocarburants ».

⁴⁹⁹ Vols domestiques et 50 % des arrivées/départs internationaux.

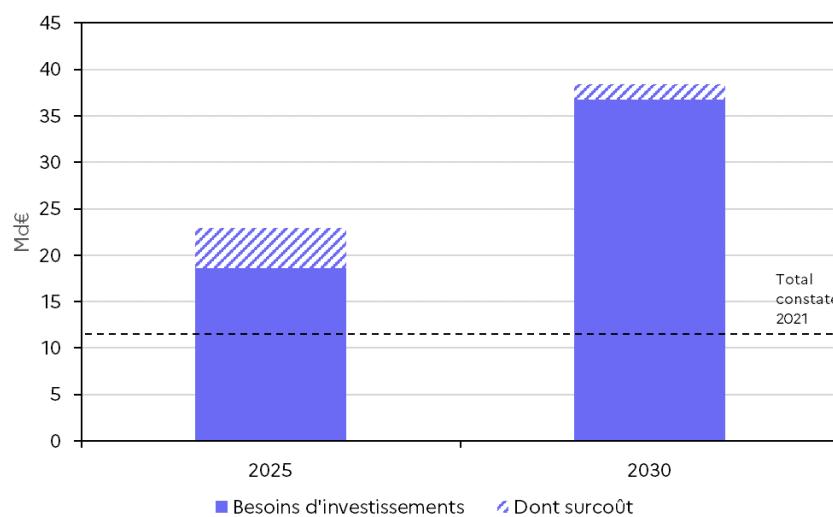
⁵⁰⁰ Facteur de conversion entre la production électrique et la production d'e-kérosène compris entre 1,9 et 4,5. Source : [Ademe \(2023\)](#) et [Académie des Technologies \(2023\)](#)

⁵⁰¹ Publié dans le cadre de la concertation conduite entre le 4 novembre et le 16 décembre 2024 : [Les grands enjeux de la SNBC 3 | Décarboner la France : votre voix compte !](#)

10.1.4 La transition bas-carbone nécessitera des investissements, principalement dans les véhicules bas-carbone par les ménages et les entreprises, et des investissements dans les infrastructures de transports collectifs d'une ampleur incertaine

L'atteinte des objectifs climatiques nécessitera des investissements importants, principalement dans les véhicules bas-carbone⁵⁰². Les besoins d'investissements bruts supplémentaires par rapport à 2021 s'élèvent à +43 Md€/an en 2030, essentiellement pour l'acquisition de véhicules particuliers bas carbone (+27 Md€/an) selon un document de travail de la DG Trésor⁵⁰³. L'investissement dans les voitures électriques est dans l'ensemble rentable en 2030 grâce à la baisse du coût anticipée, le surcoût à l'achat par rapport aux voitures thermiques (+2 Md€/an en 2030 – cf. Graphique 4) étant inférieur aux économies sur la facture énergétique (9 Md€/an au plus en moyenne sur les véhicules immatriculés entre 2024 et 2030). Les besoins d'investissements supplémentaires dans les véhicules utilitaires légers, poids lourds, autobus et autocars sont estimés à +5 Md€/an en 2030 par rapport à 2021. Les investissements dans les infrastructures de transport ne sont pas intégrés dans ce chiffre, et les besoins spécifiques liés à la décarbonation sont difficiles à estimer. Dans son rapport de janvier 2023, le Conseil d'orientation des infrastructures (COI) estime les besoins de financements associés à plusieurs scénarios à +10 Md€/an en moyenne pour 2030 dans les infrastructures de transport et par rapport au dernier quinquennat⁵⁰⁴. Toutefois, ce chiffre ne peut pas être comparé aux besoins d'investissements estimés par la DG Trésor, car il inclut des besoins sociaux, territoriaux et industriels liés à la mobilité et la contribution de ces investissements à la décarbonation n'a pas été évaluée.

GRAPHIQUE 4
Investissements bruts dans les véhicules particuliers
pour la transition bas-carbone, hors économies d'énergie (en Md€/an)



Des investissements significatifs ont été réalisés par l'État dans les infrastructures de transport, en ciblant prioritairement les mobilités du quotidien comme le vélo et les transports collectifs et durables⁵⁰⁵. Les projets d'investissement dans les infrastructures de transport font l'objet d'évaluations d'impacts socio-économiques, incluant une estimation des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur l'ensemble de leur cycle de vie, y compris lors de la construction. Les émissions

⁵⁰² Dans ce chiffrage, les véhicules routiers bas-carbone recouvrent les véhicules particuliers électriques et hybrides rechargeables, les utilitaires légers électriques, et les poids-lourds électriques, à H₂ et roulant au gaz naturel.

⁵⁰³ Gourmand L. (2024), « [Quels besoins d'investissements pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ?](#) » Document de Travail de la Direction générale du Trésor, n°2024/2.

⁵⁰⁴ Conseil d'Orientation des Infrastructures (2023), « [Investir plus et mieux dans les mobilités pour réussir leur transition](#) ».

⁵⁰⁵ Cf. l'introduction du [Rapport économique, social et financier 2025](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

sont valorisées via la Valeur de l’Action pour le Climat⁵⁰⁶. Il est crucial d’analyser, au cas par cas, les émissions générées ou évitées par ces projets. Par exemple, bien que les transports collectifs (urbains et longue distance) soient généralement considérés comme bas-carbone, ils engendrent des émissions significatives lors de leur construction, peuvent conduire à un faible report modal, accroître la demande de transport et favoriser l’étalement urbain, *a fortiori* s’ils ne sont pas bien tarifés⁵⁰⁷. Des modèles de transport sont développés ou utilisés pour tous les grands projets pour estimer ces effets, essentiels pour évaluer leur contribution à la décarbonation. Néanmoins, ces estimations sont incertaines car elles nécessitent une modélisation fine des changements de comportement des usagers. De même, dans le cas de projets d’infrastructures routières, l’estimation de la demande induite, c’est-à-dire les déplacements qui n’auraient pas eu lieu sans le projet en question, conditionne les émissions générées par le projet. L’augmentation des kilomètres de voies routières s’accompagne généralement d’une hausse proportionnelle des kilomètres parcourus, principalement en raison de la demande supplémentaire des habitants et de l’accroissement du trafic commercial⁵⁰⁸. Une prise en compte insuffisante de la demande induite est susceptible de sous-estimer les émissions induites par des projets carbonés, ou surestimer les bénéfices climatiques des projets de transport bas-carbone. L’augmentation de la demande a par ailleurs une valeur économique (accroissement de l’utilité des ménages ou de l’activité des entreprises).

10.1.5 La transition bas-carbone générera des co-bénéfices sanitaires

La transition bas-carbone dans le secteur des transports générera des co-bénéfices en matière de santé publique, grâce à la réduction de la pollution de l’air et sonore. Les véhicules électriques génèrent moins de pollution de l’air que les véhicules thermiques. En effet, ils n’émettent pas de dioxyde d’azote, qui est responsable de 7 000 décès/an en France⁵⁰⁹, ni de particules fines à l’échappement. Ils contribuent toutefois à la pollution de l’air via l’émission de particules fines hors-échappement⁵¹⁰. Le transport routier serait également responsable d’environ 1 300 décès prématurés en France en 2017⁵¹¹ via la pollution sonore, dont il est la première source dans l’UE. Ce nombre pourrait significativement baisser grâce à l’électrification des véhicules⁵¹².

Le report modal vers les modes actifs réduirait également la sédentarité, facteur de risque important pour de nombreuses maladies. Aujourd’hui, 32 % des adultes français sont trop sédentaires au sens des recommandations de l’OMS⁵¹³. La sédentarité augmente l’occurrence de maladies graves comme les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2, le cancer du sein ou du colon et la démence⁵¹⁴. La sédentarité joue notamment (aux côtés de l’alimentation) un rôle dans la prévalence de l’obésité, dont le coût social est estimé à au moins 1 % du PIB en 2012⁵¹⁵.

⁵⁰⁶ IGEDD [Focus sur... L'évaluation socio-économique des projets de transports | IGEDD \(developpement-durable.gouv.fr\)](#)

⁵⁰⁷ Ils peuvent toutefois générer des co-bénéfices sanitaires, l’usage des transports en commun étant souvent associé à une part de trajet en marche à pied, généralement non monétarisés dans l’évaluation socio-économique.

⁵⁰⁸ Duranton et Turner (2011), « [The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities](#) », American Economic Review

⁵⁰⁹ Santé Publique France (2021), « [Impact de la pollution de l’air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine](#) »

⁵¹⁰ Le CITEPA (2023) projette que, dans le scénario AME de la SFEC 2023 avec 50 % de véhicules particuliers électrifiés en 2050, les émissions de polluants atmosphérique du transport routier (y.c. hors échappement) diminuent de façon substantielle : celles de PM2.5 diminueraient de 60 % en 2050 par rapport à 2019 avec la disparition des émissions à l’échappement (tandis que les émissions hors-échappement restent plus ou moins constantes); celles de NOx diminueraient de 90 %.

⁵¹¹ European Environment Agency (2022), « [Additional information on health impacts from transport noise at EU level in 2017](#) ». Nombre de décès en France approximé à partir de la part de la France dans la population de l’UE.

⁵¹² European Environment Agency (2022), « [Outlook to 2030 — Can the number of people affected by transport noise be cut by 30%?](#) », Briefing

⁵¹³ Santé Publique France (2024), « [Prévalences nationales et régionales de l’activité physique et de la sédentarité des adultes en France : résultats du Baromètre de Santé publique France 2021](#) »

⁵¹⁴ Jean et Quirion (2022), « [Marche, vélo : les gains sanitaires et économiques du développement des transports actifs en France](#) ».

⁵¹⁵ Caby D. (2016), « [Obésité : quelles conséquences pour l’économie et comment les limiter ?](#) », Trésor Éco n°179. Estimation hors valorisation monétaire de la vie statistique, VVS

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Les scénarios présentés par le SGPE⁵¹⁶, comme le projet de SNBC 3 publié dans le cadre de la concertation conduite fin 2024, incluent un triplement de l'usage quotidien du vélo à horizon 2030. Des chercheurs estiment qu'à horizon 2050, une multiplication par sept des distances parcourues à vélo éviterait 7 500 décès par an⁵¹⁷.

10.2 La décarbonation du transport de voyageurs passe par une combinaison d'instruments

Le transport est à la croisée de nombreux enjeux pour la puissance publique :

- **La mobilité contribue au bon fonctionnement de l'économie** : le développement de réseaux de transports efficaces, denses, et rapides améliore la productivité et la croissance à l'échelle nationale⁵¹⁸ et régionale⁵¹⁹. Par ailleurs, les services de transport jouent un rôle important sur le marché du travail, en raison du coût d'opportunité du temps⁵²⁰. Par exemple, la croissance de l'emploi dans les communes qui ont bénéficié de l'ouverture et de l'extension du RER a été supérieure de 13 % entre 1970 et 2000 à celle des communes desservies uniquement par des trains de banlieue⁵²¹.
- **Les politiques de transport participent à l'aménagement du territoire, à la fois au niveau national, et à l'échelle locale**, en permettant notamment l'accès aux biens et services essentiels.
- **Le transport constitue un poste de dépenses important, particulièrement pour certains ménages**. Les dépenses de transport augmentent avec le revenu, mais moins vite que celui-ci, et sont caractérisées par une forte hétérogénéité horizontale, notamment entre ménages ruraux et urbains (cf. Chapitre 6). Cela soulève des enjeux distributifs importants dans l'élaboration des politiques climatiques.

La puissance publique a mis en place une combinaison d'instruments pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur (cf. Tableau 1)

⁵¹⁶ SGPE (2023), « La [Planification écologique](#) ».

⁵¹⁷ Barban P. et al. (2022), « [Assessing the Health Benefits of Physical Activity Due to Active Commuting in a French Energy Transition Scenario](#) », International Journal of Public Health.

⁵¹⁸ Farhadi (2015), « Transportation infrastructure and long-run economic growth in OECD countries », Transportation Research Part A.

⁵¹⁹ Arbués et al. (2015), « [The spatial productivity of transportation infrastructure](#) », Transportation Research Part A.

⁵²⁰ Le Barbanchon et al. (2021), « [Gender differences in Job Search : Trading off Commute against Wage](#) », Quarterly Journal of Economics

⁵²¹ INSEE (2015), « [The Impacts of Urban Public Transportation: Evidence from the Paris Region](#) »

TABLEAU 1
Principaux instruments de politique publique mobilisés en 2024

Tarification explicite et implicite du carbone		Subventions	Normes	Information
Véhicules légers	<p><u>À l'usage</u> : Accise sur les énergies (dont composante carbone)</p> <p>Taxe incitative relative à l'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport (TIRUERT)</p> <p><u>À la possession</u> : [pour l'usage professionnel de véhicules] taxe annuelle sur les émissions de CO₂, taxe annuelle sur l'ancienneté du véhicule.</p>	<p><u>À l'acquisition</u> : bonus écologique, malus ; leasing ; prime à la conversion</p> <p><u>Subventions sur l'offre</u> : France 2030</p>	<p>Règlement européen établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour VP et VUL</p> <p>Directive européenne sur l'énergie renouvelable RED3</p> <p>Obligation de verdissement des flottes (nationale)</p> <p>Directive 2019/1161 relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économies en énergie⁵²²</p>	Étiquette énergie-CO ₂ sur les véhicules neufs (national)
Véhicules lourds	Accise sur les énergies (tarifs réduits)	Appels à projet (aides à l'achat de poids lourds électriques, primes CEE pour l'installation de bornes de recharge ⁵²³)	<p>Directive européenne sur l'énergie renouvelable RED3</p> <p>Règlement européen établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour véhicules utilitaires lourds</p>	Obligation de calcul et de transmission de la quantité de GES émise à l'occasion d'une prestation de transport (réglementation « InfoGES » ⁵²⁴)
Aérien	ETS1 (intra-UE)	Subvention carburant aviation durable	<p>Interdiction des vols avec alternative en train de moins de 2h30 (nationale)</p> <p>Refuel (UE)</p> <p>CORSIA (international)</p>	
Maritime	ETS1 (100% intra-UE, 50 % du trafic international)		Refuel (UE)	

⁵²² Cette directive définit notamment des objectifs de véhicules propres pour les marchés publics et les contrats de services publics.

⁵²³ Les certificats d'économies d'énergie (CEE) ne constituent pas une subvention mais permettent aux bénéficiaires de réduire les coûts d'investissements.

⁵²⁴ [La réglementation InfoGES](#), en vigueur depuis octobre 2013, s'applique à tout transporteur, français ou étranger, opérant sur le territoire national, indépendamment du mode de transport considéré. Elle fera prochainement l'objet d'une actualisation, dans le contexte de l'entrée en vigueur des sanctions introduites par l'article 139 de la Loi Climat & Résilience.

10.2.1 La tarification du carbone est un levier essentiel de la décarbonation

10.2.1.1 *Le prix du carbone est l'instrument le plus coût-efficace, mais ses effets distributifs invitent à le compléter pour accompagner les ménages*

Le prix du carbone constitue un instrument puissant pour décarboner le transport routier à moindre coût⁵²⁵. À court terme, les automobilistes ajustent leur consommation de carburant à son prix, de sorte qu'une augmentation de 1% du prix entraîne une baisse de 0,2 à 0,4% des volumes consommés. Cette élasticité est cependant plus forte pour les petits rouleurs que pour les gros rouleurs⁵²⁶. Par ailleurs, plusieurs études dans des pays étrangers suggèrent que les ménages pourraient être davantage sensibles aux variations de fiscalité qu'à des variations de prix dues par exemple à l'évolution du cours mondial du pétrole⁵²⁷. À plus long terme, le prix du carburant influence également les décisions d'achat de véhicule des ménages et des entreprises⁵²⁸, les incitant à acquérir des véhicules plus efficaces. Enfin, le prix du carburant peut jouer sur le choix modal des individus, les conduisant à privilégier des modes de déplacement moins émissifs (transports en commun, vélo), voire à habiter plus proche de leur lieu de travail⁵²⁹. **La tarification du carbone soulève néanmoins des enjeux distributifs qu'il convient de maîtriser (qui sont traités plus en détail dans le Chapitre 6)**, notamment à court terme où les ménages sont souvent contraints par leur localisation et leur véhicule.

La tarification du carbone dans le secteur de l'aviation peut également orienter les comportements des agents : elle fournit une incitation à optimiser l'usage des carburants des compagnies aériennes (acquisition d'avions plus efficaces, baisse de la vitesse, choix de la route), et des consommateurs (moindre demande, report modal). Par exemple, l'application du système européen de quotas carbone à l'aviation intra-européenne entre 2012 et 2016 a permis une réduction des émissions de l'ordre de 5 % au total, et de plus de 10 % sur les routes de moins de 1000 km, pour lesquelles la concurrence avec les autres modes de transport est plus forte⁵³⁰, à une période où les compagnies aériennes recevaient des quotas gratuits, et où le prix du carbone était de l'ordre de 6 €/tCO2éq⁵³¹.

Le transport international de passagers et de marchandises, aérien et maritime, fait face à la concurrence internationale, ce qui nécessite des actions coordonnées entre pays, aux niveaux européen et international, pour mettre en place des actions efficaces de réduction des émissions au niveau mondial et éviter les fuites de carbone (cf. Chapitre 3). De plus, les émissions internationales du secteur ne sont pas incluses dans les Contributions déterminées au niveau national (NDCs) de l'Accord de Paris et les conventions de l'Organisation maritime internationale (OMI) ne prévoient pas aujourd'hui de taxe internationale sur les carburants. La France est à ce titre pleinement engagée dans les travaux de décarbonation de l'Organisation maritime internationale. En l'absence de tarification carbone dans le secteur aérien international, le tarif de solidarité sur les billets d'avion, qui s'applique en France, permet de réduire la demande tout en réduisant le risque de fuite de carbone associé au déplacement de hubs de transit.

La tarification du carbone doit s'articuler avec la tarification des autres externalités générées par le transport. La tarification optimale d'un mode de transport consiste à faire payer à l'usager le coût d'usage (carburant, usure du véhicule, etc.) et les coûts externes que son déplacement

⁵²⁵ Cf. DG Trésor (2023), « [Rapport intermédiaire sur les enjeux économiques de la transition vers la neutralité bas-carbone](#) »

⁵²⁶ INSEE (2023), « [Comment les automobilistes ajustent leur consommation de carburant aux variations de prix à court terme](#) »

⁵²⁷ Cf. par exemple Andersson (2019), « [Carbon Taxes and CO2 Emissions : Sweden as a Case Study](#) », American Economic Journal: Economic Policy

⁵²⁸ Cf. par exemple Allcott H., Wozny N. (2012), « [Gasoline prices, fuel economy and the energy paradox](#) »

⁵²⁹ Institut Paris Région (2020), « [Les déterminants du choix modal](#) »

⁵³⁰ Fageda et Teixidó (2022), « Pricing carbon in the aviation sector: evidence from the European emissions trading system », Journal of Environmental Economics and Management

⁵³¹ [Carbon Price Viewer - Sandbag](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

engendre pour la collectivité (usure de l'infrastructure, accidents, pollutions, etc.). Cette somme, appelée coût marginal social, correspond au coût pour la collectivité d'un déplacement supplémentaire. Si la tarification est inférieure au coût marginal social, la circulation engendre trop d'externalités négatives par rapport au niveau optimal pour la société d'un point de vue socio-économique. La tarification optimale consisterait à tarifer chaque externalité au niveau de son coût social. Les externalités du transport (CO₂, pollution atmosphérique, bruit, usure des infrastructures) sont insuffisamment couvertes par la fiscalité actuelle, de façon relativement marginale pour le transport routier thermique (hors externalité de congestion), et plus importante pour l'aérien (cf. Encadré 2 et Annexe 14.2).

ENCADRÉ 2

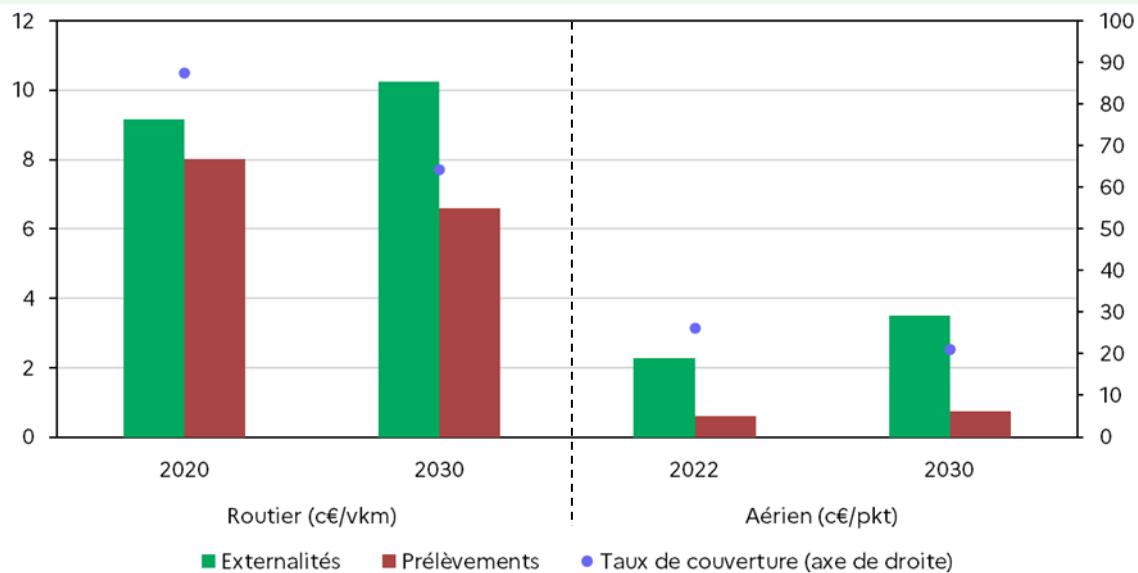
La tarification des externalités du transport routier et aérien est actuellement insuffisante et est amenée à se dégrader, à politiques inchangées.

Routier

La tarification des usagers de la route est actuellement proche du coût externe, mais elle se dégraderait du fait de la hausse de la Valeur de l'Action pour le Climat et de la transition vers l'électrique. Hors externalité de congestion⁵³², environ 90 % des coûts externes sont couverts pour les véhicules légers et les poids lourds. Le taux de couverture des externalités des véhicules particuliers est actuellement plus élevé pour les véhicules thermiques que pour les véhicules électriques, mais ce ne serait plus le cas à l'avenir avec l'augmentation de la Valeur de l'Action pour le Climat, qui renchérit les externalités générées par les véhicules thermiques. À mesure que le parc s'électrifie, le taux de couverture se dégrade, atteignant 64 % en 2030 (cf. Annexe 14.2.2 pour plus de détails).

⁵³² Dans la présente analyse de la DG Trésor, la congestion est considérée comme un coût non marchand qui est supporté par les usagers de la route, et pas comme une externalité à l'échelle du secteur routier. Cette approche diffère de celle suivie dans le Trésor-Éco n°283 de 2021, "[Les usagers de la route paient-ils le juste prix de leurs circulations ?](#)", qui traite la congestion comme une externalité, en définissant une externalité comme un coût externe à l'usager plutôt qu'au secteur qui la génère (approche retenue dans la présente analyse).

GRAPHIQUE 5
Tarification des coûts externes du transport routier (thermique et électrique) et aérien



Notes : vkm = véhicule-kilomètre, pkt = passager-kilomètre. Les deux dimensions ne sont pas directement comparables. Dans la présente analyse, la congestion est considérée comme un coût non marchand qui est supporté par les usagers de la route, et pas comme une externalité à l'échelle du secteur routier. Cette approche diffère de celle suivie dans le Trésor-Éco n°283 de 2021, « Les usagers de la route paient-ils le juste prix de leurs circulations ? », qui traite la congestion comme une externalité, en définissant une externalité comme un coût externe à l'usager plutôt qu'au secteur qui la génère (approche retenue dans la présente analyse). La prise en compte du coût externe de la congestion, estimé à environ 11 c€/vkm en 2015, augmenterait substantiellement les externalités du transport routier et dégraderait sa couverture des externalités.

Source : Calculs actualisés sur la base de travaux du CGDD⁵³³. Pour 2030, les projections sont faites à cadre juridique inchangé, et s'appuient sur l'électrification du parc du scénario AMS de la SNBC 2 dans le cas du transport routier (Cf. Annexe 14.2.2).

Aérien

Le transport aérien français⁵³⁴ ne couvre en moyenne que 25 % environ de ses coûts externes en 2022 (cf. Graphique 5). Cette analyse se fonde sur les données d'une étude du Commissariat général au développement durable (CGDD) pour l'année 2015⁵³⁵ et a été mise à jour par la Direction Générale du Trésor pour l'année 2022. À la différence de l'étude du CGDD, l'usage de l'infrastructure n'a pas été inclus dans cette analyse. Les coûts marginaux externes sont estimés à 2,3 c€₂₀₂₂ par passager-kilomètre (c€/pkt⁵³⁶), en incluant l'impact des trainées de condensation⁵³⁷.

⁵³³ Le périmètre de l'analyse diffère légèrement entre les deux secteurs : la congestion est comptabilisée comme une externalité pour l'aérien mais pas le routier. Le coût d'utilisation de l'infrastructure est exclu pour l'aérien du fait de l'incertitude autour de sa valeur.

⁵³⁴ Par souci de lisibilité, l'analyse se limite au *transport aérien commercial de voyageurs*, qui représente environ 80 % du trafic commercial en 2019 (420 milliards de passagers.km contre 12 milliards de tonnes.km pour le transport de marchandises, et 1 tonne.km = 10 pkm (hypothèse CGDD)), et sa part relative croît. Le transport de marchandises et le transport non commercial sont en outre soumis à des prélèvements différents.

⁵³⁵ CGDD (2020), « [Mobilités : Coûts externes et tarification du déplacement](#) »

⁵³⁶ Les émissions de GES sont monétarisées en utilisant une valeur tutélaire égale à la Valeur de l'Action pour le Climat, fixée par le Rapport Quinet (2019) qui prévoit une valeur cible de 280 €₂₀₂₂/tCO₂ d'ici 2030 (contre 47 €₂₀₂₂ en 2015). Cette hypothèse conduit à négliger les surcoûts implicites liés aux normes en faveur de la décarbonation.

⁵³⁷ La circulation aérienne est à l'origine de la formation de nuages de trainées liés à la condensation de la vapeur d'eau émise par les moteurs. La vapeur d'eau étant un puissant gaz à effet de serre, son impact climatique est ici pris en compte (recommandation de l'ADEME). L'étude du CGDD a fait le choix de neutraliser cet effet du fait de l'incertitude sur la valeur tutélaire, ce qui conduit à une valeur de 1,5 c€₂₀₂₂/pkt.

La tarification marginale est estimée en moyenne à 0,6 c€₂₀₂₂/pkt. Celle-ci inclut : le tarif de solidarité (ex-taxe de solidarité sur les billets d'avions), le tarif d'aviation civile⁵³⁸, la taxe sur les nuisances sonores aériennes, le marché de quotas carbone européen (European Trading Scheme, ETS), la taxe sur l'exploitation des infrastructures de transport de longue distance et la compensation des émissions des vols nationaux au titre de la loi Climat et Résilience⁵³⁹.

10.2.1.2 La tarification effective du carbone dans le secteur du transport est en moyenne élevée, mais hétérogène

La tarification effective du carbone dans le transport est évaluée comme plus élevée que dans d'autres secteurs (180 €/tCO₂ contre 76 €/tCO₂ pour l'industrie-construction⁵⁴⁰), mais elle est à mettre en regard de l'ensemble des externalités négatives (climatiques et non climatiques) générées. En 2024, la tarification effective moyenne dans le transport routier est plus élevée pour les ménages (249 €/tCO₂éq) que pour les entreprises (81 €/tCO₂éq). La tarification du CO₂ passe notamment par l'accise sur les carburants, dont seule une partie est de la tarification explicite sur le CO₂ (la « composante carbone » de l'accise sur les énergies, gelée à 44,6 €/tCO₂ depuis 2018).

Les divers segments du transport sont soumis à des niveaux de tarification carbone effective⁵⁴¹ hétérogènes, du fait de l'existence de plusieurs instruments et tarifs selon les modes. Les carburants routiers sont actuellement soumis à l'accise sur les énergies (ex-TICPE essentiellement). Les carburants aériens et maritimes sont exemptés d'accise sur les énergies, mais les vols intra-européens depuis 2012 et le transport maritime (100 % intra-européen, 50 % pour des déplacements dont l'origine ou l'arrivée est dans l'UE) depuis 2024 sont intégrés au marché de quotas européen historique (ETS1). Les quotas, principalement distribués gratuitement à ces secteurs, ne le seront plus à partir de 2026. Seule l'aviation internationale n'est pas tarifée. Par ailleurs, l'existence de tarifs réduits d'accise conduit à une forte hétérogénéité dans la tarification carbone effective des carburants et des usages.

10.2.2 Des dispositifs complémentaires, réglementaires et subventionnels, permettent de lever des freins à l'électrification des voitures électriques et d'accompagner les ménages

Certains biais comportementaux et barrières peuvent jouer en défaveur du véhicule électrique, malgré ses coûts à l'usage plus faibles, ce qui justifie le recours à des instruments complémentaires tels que les normes et le bonus-malus :

- Une forte préférence des ménages pour le présent dans les comportements d'achat de véhicule. La littérature suggère que les consommateurs valorisent davantage une baisse du coût d'investissement qu'une baisse des coûts de carburant, bien que l'ampleur de ce biais soit hétérogène selon les études. Une expérience naturelle aux États-Unis à partir de

⁵³⁸ Le tarif d'aviation civile alimente le Budget annexe Contrôle et exploitation aériens (BACEA). Ce dernier vise à couvrir des coûts liés à l'activité aérienne et le tarif pourrait à ce titre être considéré comme un prélèvement pour services rendus. Pour autant, compte tenu du périmètre plus large du BACEA, le tarif d'aviation civile est conservé dans le bilan, dans une hypothèse maximaliste.

⁵³⁹ Le mécanisme CORSIA est également modélisé, mais son impact est négligeable sur la tarification.

⁵⁴⁰ « [Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#) – PLF 2025 ».

⁵⁴¹ Bien qu'elle ne soit pas considérée comme une tarification effective du carbone car non corrélée aux émissions de GES, le tarif de solidarité sur les billets d'avion contribue à tarifer les externalités des vols internationaux.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

changements exogènes dans les scores d'efficacité énergétique des véhicules suggère que les consommateurs sont indifférents entre 1 \$ supplémentaire d'investissement et 15-38 c\$⁵⁴² de réduction des coûts actualisés de carburant, ce qui serait compatible avec une forte préférence pour le présent. En Europe, ce biais serait moins marqué (1 € vs 0,91 €) selon une étude exploitant les différences de consommation entre voitures fonctionnant au diesel et à l'essence⁵⁴³.

- Une appréciation des coûts annexes des véhicules par les ménages à la défaveur des voitures électriques. Les consommateurs estiment correctement les coûts du carburant thermique⁵⁴⁴, mais il n'existe pas d'étude sur leur perception des économies de facture énergétique permises par le véhicule électrique. De plus, les consommateurs sous-estiment les coûts annexes (valeur de dépréciation, entretien, assurance, ...)⁵⁴⁵ associés à la possession d'une voiture, ce qui pourrait freiner le passage à la voiture électrique, dont les coûts annexes sont plus faibles dans l'exemple étudié par les auteurs⁵⁴⁶.
- Une substituabilité imparfaite entre voitures thermiques et électriques (moindre autonomie, nécessité de trouver des bornes de recharge, ...). Le cinquième baromètre de la mobilité électrique mené par Ipsos montre que même parmi les Français prêts à acheter un véhicule électrique, 50 % voient leur autonomie limitée et 30 % le manque d'infrastructures de recharge comme des inconvénients par rapport aux véhicules thermiques ; 54 % des français considèrent que les véhicules électriques ne pourront pas remplacer totalement les véhicules thermiques⁵⁴⁷. Toutefois, 6 Français sur 10 considèrent qu'un véhicule électrique serait adapté aux déplacements qu'ils font actuellement⁵⁴⁸.

Les normes européennes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les voitures et les camionnettes (VUL) neuves⁵⁴⁹ favorisent l'adoption de véhicules moins intensifs en émissions. Elles obligent les constructeurs à concevoir des véhicules plus économies en carburant ou à promouvoir les véhicules électriques. Elles encouragent l'innovation technologique et les investissements dans des solutions de mobilité durable. De plus, les normes peuvent contribuer à accroître la visibilité de long terme, à ancrer les anticipations des producteurs et des consommateurs, et ainsi limiter le « capital échoué ». La norme européenne fixe ainsi un horizon pour l'interdiction de vente de véhicules légers thermiques neufs en 2035.

Les obligations de verdissement des flottes professionnelles en vigueur en France ont comme objectif principal de réduire les émissions de ces flottes, et ont aussi le potentiel d'alimenter le marché de l'occasion notamment pour les ménages, mais elles sont encore peu respectées. Un marché du véhicule électrique d'occasion commence à émerger, mais le nombre de véhicules vendus demeure encore faible. Le marché des véhicules électriques d'occasion a commencé à progresser fortement au premier semestre 2024, même si les ventes de voitures électriques d'occasion ne représentent encore que 2 % des ventes sur le marché de l'occasion⁵⁵⁰. La loi d'orientation des mobilités de 2019 oblige les entreprises possédant une flotte de plus de 100 véhicules à inclure une part croissante de véhicules à faibles émissions dans le renouvellement de leur flotte (10 % en 2023, 20 % en 2024, 40 % en 2027 et 70 % en 2030). Comme la moitié des voitures neuves sont achetées par les entreprises (53 % en 2023⁵⁵¹), et que les flottes sont

⁵⁴² Gillingham et Houde (2021), « [Consumer Myopia in Vehicle Purchases: Evidence from a Natural Experiment](#) », AEJ: Economic Policy

⁵⁴³ Grigolon et al. (2018), « [Consumer Valuation of Fuel Costs and Tax Policy : Evidence from the European Car Market](#) », AEJ: Economic Policy

⁵⁴⁴ Andor et al. (2020), « [Running a car costs much more than people think — stalling the uptake of green travel](#) », Nature ; ainsi que son [annexe](#)

⁵⁴⁵ Andor et al. (2020), « [Running a car costs much more than people think — stalling the uptake of green travel](#) », Nature

⁵⁴⁶ Les auteurs comparant les coûts annexes de la version thermique et électrique de la Volkswagen Golf pour arriver à ce constat.

⁵⁴⁷ Ipsos (2022), « [Le baromètre de la mobilité électrique, cinquième édition](#) »

⁵⁴⁸ Ipsos (2022), « [Le baromètre de la mobilité électrique](#) ».

⁵⁴⁹ Commission Européenne, "CO₂ emission performance standards for cars and vans"

⁵⁵⁰ [L'Avere-France et MOBILIANS publient la seconde édition du baromètre du marché des voitures électriques d'occasion - Avere-France](#)

⁵⁵¹ SDES (2024), « [Immatriculations des voitures particulières en 2023](#) »

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

renouvelées fréquemment, cette obligation en fait en théorie une source d'approvisionnement conséquente en véhicules électriques pour le marché de l'occasion des ménages. Cependant, d'après une étude de Transport & Environnement, seules 40 % des entreprises assujetties ont respecté cette obligation en 2023⁵⁵², dans un contexte où l'électrification des flottes des entreprises (12 % des voitures neuves immatriculées en 2023 pour les entreprises sont électriques) est en retard sur celle des particuliers (22 % en 2023)⁵⁵³. Des sanctions financières pourraient permettre de créer une incitation financière au respect des obligations, comme le propose un rapport parlementaire⁵⁵⁴.

La régulation de l'intensité carbone des véhicules présente néanmoins certaines insuffisances, qui imposent de recourir à des instruments complémentaires portant notamment sur l'usage des véhicules. Tout d'abord, l'efficacité des normes est amoindrie par la mesure imparfaite de l'intensité CO₂ des véhicules et de potentielles stratégies de contournement, qui consistent à réduire l'intensité carbone selon la métrique de la norme, sans effet réel sur les émissions sur route⁵⁵⁵. De plus, ces normes n'agissent pas sur l'usage et ne suffisent donc pas à réduire les émissions en l'absence de signal-prix suffisant. En effet, les gains en intensité énergétique, qui réduisent le coût marginal du kilomètre, peuvent être amoindris voire compensés par une augmentation des distances parcourues, en particulier à court terme avant l'interdiction des ventes de véhicules thermiques.

Les normes sur la décarbonation des carburants, si elles permettent de réduire les émissions, peuvent avoir des effets indésirables compte tenu de contraintes sur les ressources nécessaires à la production de carburants alternatifs. La directive sur les énergies renouvelables RED3 fixe par exemple l'objectif de 29 % d'incorporation d'énergies renouvelables dans le secteur du transport routier, ou alternativement 14,5 % de réduction de GES par rapport au combustible fossile, à horizon 2030. De même, le règlement ReFuel Aviation impose aux fournisseurs de carburants d'aviation une part minimale de carburants d'aviation durable à partir de 2025 et une part minimale de carburants de synthèse à partir de 2030. L'incorporation de carburants bas-carbone permet de réduire l'intensité carbone des carburants tout en renchérisant le coût des carburants, limitant ainsi la demande. Néanmoins, il convient de s'assurer que l'utilisation de ces carburants non-fossiles ne compromette pas d'autres objectifs de politique publique, dans un contexte de ressources limitées (cf. *supra*).

Dans le domaine de l'aviation, la France a également instauré une interdiction des vols pour lesquels il existe une alternative en train en moins de 2h30, mais l'ampleur de cette mesure reste limitée. La baisse des émissions du trafic aérien domestique en 2023 (-3,4 % par rapport à 2022) pourrait être en partie attribuée à cette mesure. Les lignes supprimées correspondaient à 11 % des émissions du trafic domestique⁵⁵⁶, mais il faudrait, pour évaluer les effets climatiques de la mesure, tenir compte des émissions causées par des reports possibles sur des lignes non supprimées ou par la route.

Les subventions sur les voitures électriques jouent un rôle d'accompagnement en diminuant le surcoût à l'investissement pour les ménages. Le soutien au verdissement du parc automobile, notamment à travers le bonus écologique, la prime à la conversion, l'aide à l'électrification des véhicules lourds et à l'installation de bornes de recharge, s'élève à 1,5 Md€ en LFI (loi de finances initiale) 2024 selon le Budget Vert. Les subventions comme le bonus permettent d'augmenter la

⁵⁵² Transport & Environnement (2024), « [Transition vers le véhicule électrique : les grandes entreprises ne jouent toujours pas le jeu](#) »

⁵⁵³ Cf. France Stratégie (2024), « [Le soutien au développement des véhicules électriques est-il adapté ?](#) »

⁵⁵⁴ Assemblée nationale (2024), « [Mission flash sur le verdissement des flottes automobiles](#) »

⁵⁵⁵ Une étude estime que 70 % de la réduction de l'intensité des émissions valorisée par les constructeurs, dans le cadre la norme européenne à partir de 2012 serait en réalité attribuable à une stratégie de contournement, cf. Reynaert (2021), « [Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market](#) », The Review of Economic Studies

⁵⁵⁶ Estimation du Réseau Action Climat (2021), « [Le train peut-il absorber les voyageurs des lignes aériennes intérieures en France?](#) »

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

part de marché des voitures électriques neuves vendues (cf. Encadré 3). En parallèle, le malus vise à désinciter à l'achat de véhicules lourds (cf. Encadré 4) ou fortement émetteurs. Comme les normes, les subventions doivent s'accompagner d'instruments portant sur l'usage afin de maintenir des incitations à maîtriser la demande et de tarifer les externalités générées par les véhicules thermiques et électriques.

Le ciblage de l'accompagnement sur des ménages modestes permet de minimiser les potentiels effets d'aubaine. L'efficience d'une subvention est maximale lorsqu'elle parvient à cibler les ménages les moins susceptibles d'avoir acheté un véhicule électrique en son absence. Certaines études suggèrent qu'une grande partie des subventions accordées aux acquéreurs de véhicules électriques donnent lieu à des effets d'aubaine. Aux États-Unis, sur la période 2010-2014 : 70 % des ménages ayant bénéficié de réductions d'impôt pour acquérir un véhicule électrique l'auraient acheté sans intervention publique⁵⁵⁷. Le risque d'effet d'aubaine est plus fort en cas de ciblage de dispositifs sur les gros rouleurs, dont l'incitation à acheter un véhicule électrique est plus grande, quoique le potentiel d'atténuation est plus élevé pour ces conducteurs. Cibler les ménages modestes, qui achètent moins de véhicules électriques, sont davantage pénalisés par l'étroitesse du marché des voitures électriques d'occasion, et font face à davantage de contraintes de financement, pourrait permettre de limiter les risques d'effet d'aubaine. C'est le sens des barèmes de subventions majorés pour les ménages modestes et du dispositif de leasing électrique, mis en place en 2024, et auxquels seuls les gros rouleurs parmi les 50 % des ménages les plus modestes avaient accès (cf. Chapitre 6). Le nombre de ménages dans cette tranche de revenus acquérant des véhicules électriques est ainsi passé de 36 000 en 2023 à environ 80 000 en 2024.

Il sera possible à terme de réduire les aides à l'électrification, comme c'est déjà le cas dans les pays les plus avancés en matière d'électrification des véhicules. Les trois pays de l'UE les plus avancés en termes de part de marché des véhicules électriques en 2023 (Suède : 39 %, Danemark : 36 %, Finlande : 34 %) ne proposent plus d'aides à l'achat en 2024 mais maintiennent des incitations fiscales en faveur des véhicules électriques ou des aides à l'installation de bornes de recharge. Ces trois pays prévoient des tarifs réduits pour les véhicules électriques sur les taxes à l'immatriculation (type malus) et à la possession. La Suède et le Danemark sont néanmoins revenus sur certaines de ces exemptions (cf. Annexe 14.2.3).

ENCADRÉ 3

Évaluation empirique du bonus en France

L'évaluation de l'impact des dispositifs subventionnels peut s'étudier soit en utilisant un modèle de décision des ménages, soit à partir de l'effet empirique observé lors de réformes (expérience naturelle). Les outils de modélisation font généralement appel à un modèle de décision des ménages (voiture électrique vs thermique), prenant en compte différents attributs des véhicules (prix, autonomie, ...), calibré sur des données empiriques (préférences déclarées via des enquêtes, ou révélées dans les données d'achat). C'est par exemple le cas d'une étude d'I4CE⁵⁵⁸. Il existe également des travaux économétriques qui exploitent des discontinuités dans les dispositifs (par exemple, une réforme touchant certains types de voitures à une date donnée) pour en estimer l'impact causal, en construisant un groupe de contrôle à partir des véhicules non touchés par la réforme. Un exemple de ce type de travaux est l'évaluation menée

⁵⁵⁷ Xing et al. (2021), « [What does an electric vehicle replace?](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*. Sur le Canada, Fournel (2024), « [Electric Vehicle Subsidies : Cost-Effectiveness and Emission Reductions](#) » estime que 50 % des subventions mises en place ont été versées à des consommateurs qui auraient acheté un véhicule électrique en l'absence de subventions.

⁵⁵⁸ I4CE (2021), « [Bonus-malus automobile : la nécessaire évaluation](#) »

par l'IPP⁵⁵⁹, qui a notamment servi dans le cadre de l'évaluation du plan de relance conduite par France Stratégie⁵⁶⁰, et qui s'intéresse à des discontinuités dans le bonus entre 2015 et 2021, en Allemagne⁵⁶¹ et en Suède, et dans le malus en France.

TABLEAU 2
Résultats des évaluations empiriques du bonus

Source	Effet d'un bonus de 1000 € sur la part de marché des véhicules électriques
IPP ⁵⁶²	+ 2,5 points de pourcentage
I4CE ⁵⁶³	+ 1,8 points de pourcentage
FMI ⁵⁶⁴	+ 1,2 points de pourcentage

L'effet d'un bonus à hauteur de 1 000 € augmente, toutes choses égales par ailleurs, la part de marché des voitures électriques de 1,2 à 2,5 points de pourcentage selon les études. Ces estimations sont cohérentes avec la dynamique observée en Allemagne, une baisse de 4 500 € ayant entraîné une baisse de la part de marché des véhicules électriques de 18 % sur l'ensemble de l'année 2023 à 11 à 13 % dans les premiers mois de 2024, soit une hausse de 1,3 points pour 1 000 € de bonus. L'ampleur de l'effet du bonus est relativement modeste comparé à l'influence d'autres facteurs (autonomie, présence d'infrastructures de recharge, ...). Les évaluations ne permettent néanmoins pas de distinguer clairement l'effet du bonus de celui de l'application de la norme européenne. Enfin, le ciblage des bénéficiaires du bonus (e.g., niveau de revenu, type de véhicule etc.) a une incidence sur son efficacité. Il est notamment plus susceptible d'avoir un effet déclencheur sur les ménages modestes (cf. *supra*).

Une hausse du prix du carbone comprise entre 80 €/tCO₂ (actualisation des ménages à 2,5 %) et 120 €/tCO₂ (actualisation forte à 10 %) pourrait avoir les mêmes effets sur les ventes de véhicules électrique qu'un bonus de 1 000 €⁵⁶⁵, en raisonnant avec le coût total d'utilisation relatif des voitures thermiques et électrique. Néanmoins, cet équivalent ne prend pas en compte qu'au-delà de l'effet sur la part de marché, une taxe carbone entraînerait une plus grande baisse des émissions qu'une subvention, car elle aurait un effet sur la demande de carburant (élasticité-prix), et elle réduit davantage la consommation de carburants en ciblant les gros rouleurs, qui ont une plus grande incitation économique à opter pour une voiture électrique⁵⁶⁶. Toutefois, contrairement aux subventions, l'augmentation de la fiscalité carbone s'accompagnerait également d'effets distributifs, touchant les ménages qui conservent leur véhicule thermique (cf. Chapitre 6).

Au-delà de subventions à l'acquisition de véhicules bas-carbone, des subventions ciblées sur l'innovation bas-carbone peuvent soutenir l'émergence de technologies pour l'instant peu matures. Le phénomène de dépendance au sentier peut en effet rendre difficile la transition pour

⁵⁵⁹ IPP (2024), « [Évaluation des mesures de soutien aux véhicules propres](#) »

⁵⁶⁰ France Stratégie (2024), « [Rapport final du comité d'évaluation du plan France Relance](#) »

⁵⁶¹ L'étude ne prend donc pas en compte la récente suppression du bonus en Allemagne.

⁵⁶² IPP (2024), « [Évaluation des mesures de soutien aux véhicules propres](#) »

⁵⁶³ I4CE (2021), « [Bonus-malus automobile : la nécessaire évaluation](#) »

⁵⁶⁴ FMI (2024), « [Balancing Environmental, Fiscal, and Welfare Impacts of Transportation Decarbonization in France](#) »

⁵⁶⁵ Économies d'énergies actualisées sur 15 ans pour un véhicule parcourant 10 000 km par an. Le véhicule thermique est supposé émettre environ 100 gCO₂/km.

⁵⁶⁶ Grigolon et al. (2018), « [Consumer Valuation of Fuel Costs and Tax Policy : Evidence from the European Car Market](#) », *AEJ: Economic Policy*. L'étude estime qu'une taxe à hauteur de 50c€/L d'essence réduit l'utilisation de carburant de 6 % de plus qu'une taxe aux revenus équivalents portant sur le prix des véhicules thermiques.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

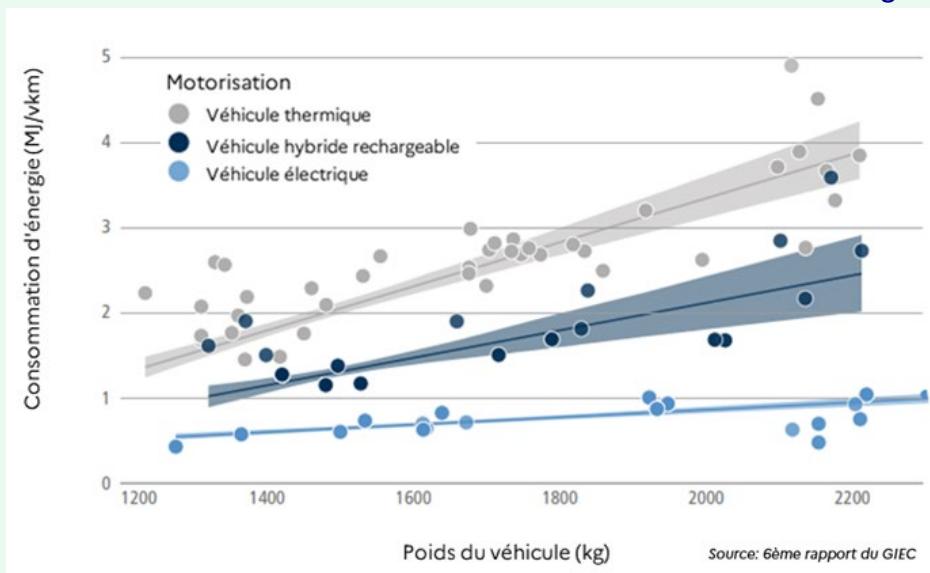
certains acteurs, notamment les acteurs historiques de l'automobile thermique⁵⁶⁷. Dans le cadre du plan France 2030, plusieurs subventions à l'offre sont mises en place pour soutenir le développement et la transformation des secteurs des transports en France. Ces subventions visent à stimuler l'innovation et la production industrielle nationale, en particulier pour des technologies de mobilité bas-carbone et zéro émission. Par exemple, l'Objectif 4 de France 2030 cible la production du premier avion bas-carbone en France d'ici 2030 (1,6 Md€ d'aides), tandis que l'Objectif 5 vise la fabrication de près de 2 millions de véhicules électriques et hybrides sur le même horizon (4,8 Md€ d'aides). Pour atteindre ces objectifs, plusieurs appels à projets ont été lancés, soutenant des initiatives variées telles que le développement de carburants aéronautiques durables, la création de solutions innovantes pour les batteries, et le déploiement de stations de recharge pour les véhicules électriques.

ENCADRÉ 4

L'enjeu de la masse des véhicules

La masse moyenne des véhicules est en hausse continue (+30 % entre 1990 et 2020⁵⁶⁸). Pourtant les véhicules plus lourds, pour une technologie donnée⁵⁶⁹, génèrent davantage d'externalités négatives climatiques et non climatiques, à la production et à l'usage. À la production, (i) les émissions de gaz à effet de serre sont plus importantes, et (ii) ils consomment plus de matériaux⁵⁷⁰. À l'usage, ils génèrent (iii) une dégradation plus importante des infrastructures, et (iv) des accidents plus souvent mortels⁵⁷¹ et (v) consomment plus d'énergie.

Graphique 6
Illustration de l'influence de la masse sur la consommation d'énergie



⁵⁶⁷ Aghion et al. (2016), « [Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry](#) », Journal of Political Economy

⁵⁶⁸ Données : ADEME, Car Labelling

⁵⁶⁹ Pour les voitures électriques, les batteries Lithium Fer Phosphate sont plus lourdes que les batteries Nickel Manganèse Cobalt, mais l'extraction génère des impacts environnementaux plus importants pour ces dernières.

⁵⁷⁰ Cf. Transport & Environnement (2023), « [Clean and Lean](#) » sur la consommation en matériaux des batteries de VE.

⁵⁷¹ Anderson et Auffhammer (2014), « [Pounds that Kill : the External Costs of Vehicle Weight](#) », The Review of Economic Studies

Un malus masse a été introduit en 2022 en France pour inciter à la sobriété dans la masse des véhicules thermiques, mais son effet était amoindri par la norme européenne, en raison de la modulation de la cible d'émissions selon la masse des véhicules vendus⁵⁷². De plus, cette modulation réduisait le nombre de véhicules à faible intensité d'émissions respectant la norme (ceux-ci étant plus légers), décourageant les constructeurs de les vendre. Une étude estime que cette modulation pourrait avoir diminué de moitié la réduction des émissions du fait de la norme⁵⁷³.

À partir de 2025, les règles de modulation des cibles d'émissions des constructeurs ne sont plus défavorables à ceux proposant des véhicules de faible masse⁵⁷⁴ et renforceront donc l'incitation fournie par le malus masse.

Les constructeurs de véhicules électriques restent peu incités à proposer des véhicules plus légers du fait de l'exemption des véhicules électriques du malus masse. La conditionnalité à l'éco-score du bonus et du dispositif de leasing permet néanmoins, mais indirectement et imparfaitement, d'internaliser l'externalité liée à la masse des véhicules électriques, en particulier pour les externalités liées à leur usage.

10.2.3 Plusieurs leviers existent pour favoriser le report modal

Les politiques publiques peuvent avoir un effet sur la part modale en jouant sur les différents facteurs qui interviennent dans le choix modal des ménages⁵⁷⁵. Le choix d'un mode de transport pour les ménages est multifactoriel, et les différents modes de transport sont imparfaitement substituables. Le coût généralisé du transport permet d'appréhender la demande pour un mode de transport donné. Il s'appuie généralement sur (i) le prix, (ii) le coût en temps de trajet, (iii) les coûts de confort (flexibilité, fiabilité, ...). Une augmentation du coût généralisé tend à réduire la demande. Par ailleurs, plus le coût relatif d'un mode par rapport à un autre est élevé, plus sa part modale sera faible. Depuis 2008, les parts modales des déplacements sont restées relativement stables, tandis que le projet de SNBC 3 publié dans le cadre de la concertation fin 2024 s'appuie sur la progression des parts modales des modes actifs et des transports en commun (passage de 17 % des passagers-kilomètres à 22 % en 2030).

10.2.3.1 L'aménagement du territoire joue un rôle structurant dans la demande de transport du quotidien et dans les choix modaux des ménages

La forme des villes et leur densité, l'étalement urbain, constituent des déterminants importants de la mobilité. En l'absence de contrainte extérieure, les ménages choisissent leur lieu de vie en prenant en compte notamment les contraintes budgétaires (dépenses liées à l'acquisition, à l'entretien du logement et aux transports) et temporelles (temps de transport pour les trajets domicile-travail et domicile-loisirs). Le développement urbain peut alors conduire à un cercle vicieux : les problématiques de congestion urbaine locale et d'accessibilité conduisent à la réalisation de nouvelles infrastructures, qui réduisent à court terme les temps de trajet mais contribuent à moyen terme à une relocalisation de certains ménages en milieux périurbain et rural, annulant ce gain. Ce phénomène d'étalement urbain s'accompagne de nombreuses externalités négatives : artificialisation des sols et atteintes à la biodiversité, consommation d'espaces agricoles, limitation des effets positifs d'agglomération (marché de l'emploi plus fluide, meilleur partage de la connaissance) par la spécialisation extrême des territoires (résidentiel, commercial, industriel, etc.), dépendance à la voiture individuelle, désertification des villes moyennes et des centres-bourgs.

⁵⁷² ICCT (2018), « [Adjusting for vehicle mass and size in European post-2020 CO2 targets for passenger cars](#) »

⁵⁷³ Reynaert (2021), « [Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market](#) », The Review of Economic Studies

⁵⁷⁴ JRC (2023), « [2025 and 2030 CO2 emission targets for Light Duty Vehicles](#) »

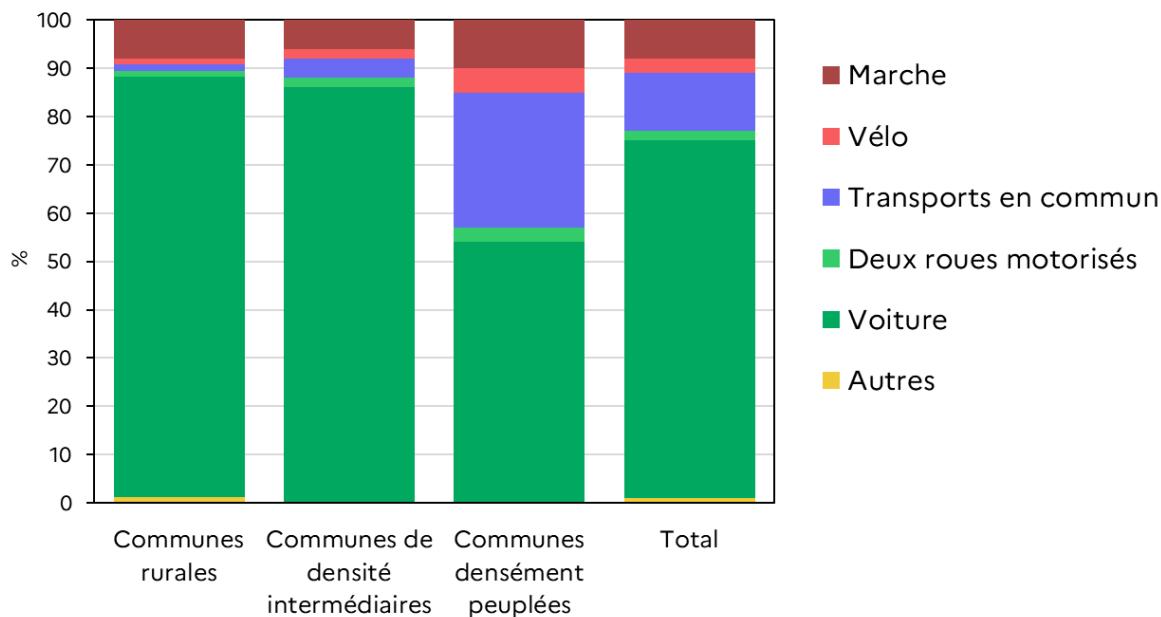
⁵⁷⁵ Institut Paris Région (2020), « [Les déterminants du choix modal. Synthèse des connaissances scientifiques](#) »

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

La littérature met en évidence un lien positif entre la densité des villes et une mobilité plus vertueuse⁵⁷⁶. Le caractère compact de la forme urbaine est notamment corrélé à de moindres émissions automobiles par ménage. De plus, au-delà des externalités positives liées aux économies d'agglomérations (marché de l'emploi plus fluide, meilleur partage de la connaissance), le développement de villes denses a des conséquences vertueuses sur la demande et le mode de transport utilisé :

- Réduction des distances pendulaires, rendue possible par la concentration des activités et leur mixité (réduction de la distance domicile-travail et domicile-commerce) ;
- Utilisation plus importante des transports collectifs, grâce à une offre plus riche. La densité de population génère des économies d'échelle et permet de développer des réseaux efficaces. La qualité de l'offre proposée, en termes de nombre de dessertes offertes et de régularité du service, accroît alors la part modale des transports collectifs au détriment de la voiture individuelle. Par ailleurs, la congestion des axes routiers dans les villes denses peut renforcer l'attractivité relative des transports collectifs en site propre ;
- Utilisation plus importante des modes actifs (marche, vélo). La densité de population concentre la demande, ce qui permet de développer un maillage de commerces et de services locaux. La proximité du domicile avec ces services du quotidien (supermarché, petit commerce, médecins, restaurants, espaces verts) permet aux habitants des villes denses d'utiliser les modes actifs (marche à pied, vélo) pour y accéder. La part modale des modes actifs et des transports en commun pour les trajets domicile-travail est ainsi en 2018 de plus de 43 % en moyenne dans les communes densément peuplées contre 13 % dans les communes rurales (cf. Graphique 7).

GRAPHIQUE 7
Mode de transport utilisé pour les trajets vers ou depuis un lieu de travail habituel en fonction de la densité communale de population en 2018



Source : Enquête mobilité des personnes 2018-2019, d'après SDES (2024), « [Comment les Français se déplacent-ils pour aller travailler ?](#) »

Les politiques de densification urbaine peuvent se heurter à des difficultés d'acceptabilité voire, au-delà d'un certain niveau, générer des externalités négatives. La densification urbaine peut accroître la pollution de l'air ou la congestion, et contribuer à une hausse des prix immobiliers,

⁵⁷⁶ Pour une étude sur la France, cf. Blaudin de Thé et al. (2021), « [The carbon 'carprint' of urbanization: New evidence from French cities](#) ». L'étude montre qu'au-delà de la densité, la forme des villes et l'offre de transport ont un impact sur l'utilisation de la voiture. Elle met également en évidence une courbe en cloche entre la taille des villes et les émissions des véhicules.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

rendant le logement moins abordable pour les plus modestes⁵⁷⁷. Au-delà d'un certain niveau, une ville trop dense peut être associée à une moindre qualité de vie (manque d'espaces verts, congestion, etc.). La densification urbaine doit également répondre au défi de l'adaptation au réchauffement climatique, les villes denses étant par exemple davantage sujettes au phénomène des îlots de chaleur urbains⁵⁷⁸.

L'aménagement urbain peut également promouvoir le développement des modes actifs (marche, vélo). Les modes actifs génèrent des externalités positives pour la santé (cf. Section 10.1.5). Le potentiel des modes actifs pour réduire les émissions concerne principalement des trajets de courte distance. À titre illustratif, les déplacements de moins de 10 km représentent moins de 13 % des émissions de gaz à effet de serre de la mobilité⁵⁷⁹. Dans le cas de l'Île-de France des chercheurs estiment que 46 % des conducteurs pourraient passer au vélo électrique – principalement – ou aux transports en commun – rarement – pour une augmentation du temps de trajet quotidien inférieure à 10 minutes, et la moitié bénéficierait d'une diminution du temps de trajet⁵⁸⁰.

10.2.3.2 Certains dispositifs peuvent inciter à l'utilisation d'un véhicule, en particulier du fait d'une calibration inadéquate

Certains dispositifs sont susceptibles d'encourager l'utilisation d'un véhicule (intensif en émissions, à court terme) au détriment d'autres modes de transport moins émissifs, et d'augmenter la demande de mobilité. Le barème de l'indemnité kilométrique (réduisant le rendement de l'impôt sur le revenu de 4 Md€ en 2023), qui permet de déduire du revenu les frais de déplacement liés à l'utilisation d'un véhicule personnel, est surévalué par rapport au coût réel d'utilisation des véhicules, ce qui constitue une incitation à utiliser son véhicule. Par exemple, pour un véhicule de 6 chevaux-vapeur (CV) parcourant 12 000 km dans l'année, le barème permet de déduire 5 945 € du calcul de l'impôt sur le revenu, alors que le coût d'utilisation estimé est compris entre 3 800 € et 4 900 € pour les 15 modèles les plus présents dans le parc⁵⁸¹. L'évaluation forfaitaire des frais liés aux véhicules de fonction (1,1 million, soit 2,6 % du parc, représentant une baisse de recettes de 0,8 Md€ en 2023) pourrait également être surestimée, du fait d'une plus grande utilisation des véhicules de fonction à fins personnelles. L'amortissement comptable des véhicules de société (0,6 Md€ de moindres recettes fiscales en 2023) est également surévalué : l'avantage permis par l'amortissement sur 4 ou 5 ans de la valeur d'un véhicule peut atteindre 20 000 € (30 000 € pour une voiture électrique) alors que la durée de vie moyenne d'une voiture est de 10 ans.

Ces dispositifs sont néanmoins à mettre en regard d'autres pouvant inciter à utiliser d'autres modes de transport, comme la prise en charge partielle de l'abonnement de transports par l'employeur ou le forfait mobilité durable (cf. *infra*).

10.2.3.3 Les transports collectifs peuvent contribuer à décarboner le transport, mais leur tarification ne doit pas s'éloigner des coûts

La littérature économique montre que des subventions aux transports collectifs urbains et longue distance sont justifiées en présence d'économies d'échelle (coût marginal inférieur au coût moyen) ou en l'absence de tarification adéquate des externalités liées à l'utilisation de la voiture⁵⁸². Néanmoins, le niveau de subvention théorique optimal dépend de nombreux facteurs (ampleur de la sous-tarification des externalités, substituabilité entre modes, ...).

⁵⁷⁷ Ahlfeldt et Pietrostefani (2019), "The economic effects of density: A synthesis"

⁵⁷⁸ Insee (2024), « En milieu urbain, les ménages modestes sont en général plus exposés aux îlots de chaleur »

⁵⁷⁹ Enquête Mobilité des Personnes (2019)

⁵⁸⁰ Leroutier et Quirion (2023), « Tackling Car Emissions in Urban Areas: Shift, Avoid, Improve »

⁵⁸¹ Calcul DG Trésor, sur la base des 15 modèles les plus présents dans le parc. Le coût d'utilisation intègre le coût d'achat d'une voiture (divisé par la durée de vie moyenne d'une voiture), l'assurance, le carburant et les frais d'entretien.

⁵⁸² Parry et Small. 2009. "Should Urban Transit Subsidies Be Reduced?" American Economic Review

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

L'offre de transport en commun contribue à réduire l'usage de la voiture. La présence et la proximité de transports collectifs pour un ménage sont en effet corrélées à de plus faibles émissions du transport. La littérature empirique estime que l'extension de lignes de transports en commun a un impact causal sur la pollution de l'air⁵⁸³, suggérant un moindre usage de la voiture. L'intensification de la concurrence peut également diversifier l'offre, augmenter la fréquence des trains, tout en réduisant son coût⁵⁸⁴.

Néanmoins, une diminution forte des tarifs des transports en commun n'aurait que peu d'effet sur le report modal et donc sur les émissions. L'opportunité de la mise en place d'une gratuité des transports franciliens a été analysée en 2018 par le Comité sur la faisabilité de la gratuité des transports en commun en Île-de-France, leur financement et la politique de tarification. Son rapport⁵⁸⁵ montre qu'une gratuité des transports publics ne ferait diminuer que de 2 % le trafic routier, tandis que près de la moitié des nouveaux usagers des transports publics proviendrait du vélo ou de la marche. Les exemples étrangers de diminution du prix des transports collectifs (comme le *Deutschlandticket*, cf. Encadré 5) montrent que le potentiel de report modal provenant de modes carbonés serait faible. Une tarification des transports en commun trop faible peut de surcroît contribuer à l'étalement urbain, avec des effets environnementaux et économiques indésirables.

La tarification des transports collectifs urbains ne couvre que de manière minoritaire les coûts de fonctionnement et d'investissement (17 % hors Île-de-France et 36 % en Île-de-France en moyenne en 2018⁵⁸⁶). Les coûts des transports en commun sont par ailleurs seulement partiellement portés par l'usager, l'employeur en prenant en charge une partie via la prise en charge de l'abonnement de transports en commun et le versement mobilité. L'État finance les transports collectifs à hauteur de 2,2 Md€ en LFI 2024, et le transport ferroviaire à hauteur de 4,8 Md€⁵⁸⁷.

Au-delà du prix, le temps de trajet joue un rôle important dans la demande pour les différents modes de transport. Un réseau de transport collectif (urbain et longue distance) rapide et fiable est de nature à encourager le report modal. Par exemple, la construction de lignes à grande vitesse a permis de réduire le trafic aérien des lignes concurrentes (100 km de lignes à grande vitesse réduit le trafic de 24 % sur la ligne aérienne concurrente en moyenne en Europe⁵⁸⁸). Toutefois, elle a aussi amené en parallèle à une augmentation de la distance entre lieu de travail et lieu de résidence, particulièrement chez les cadres⁵⁸⁹.

Le potentiel des interventions de type « nudge » apparaît limité pour favoriser le report modal. En dépit de la sous-estimation des bénéfices sur la santé des modes actifs (vélo, marche) et des transports collectifs, des expériences montrent que les ménages ne changent pas de mode de transport après avoir reçu des informations sur ces bénéfices⁵⁹⁰. À l'inverse, la limitation de la publicité pour les modes carbonés pourrait être pertinente pour réduire la demande pour ces modes.

⁵⁸³ Cf. Chen et Whalley (2012), "[Green infrastructure : the Effects of Urban Rail Transit on Air Quality](#)", Gendron-Carrier et al. (2022), "[Subways and Urban Air Pollution](#)"; Lalivé et al. (2018), "[Does expanding regional train service reduce air pollution ?](#)"

⁵⁸⁴ Une [étude de la Commission Européenne](#) estime que la concurrence dans le transport ferroviaire a permis de diminuer les prix, d'augmenter la qualité de service et la fréquence. Les prix sur le trajet Paris-Lyon ont diminué de 9 %.

⁵⁸⁵ [Rapport du Comité sur la faisabilité de la gratuité des transports en commun en Île-de-France, leur financement et la politique de tarification](#) (2018)

⁵⁸⁶ Duron et al. (2021), « [Rapport sur le modèle économique des transports collectifs](#) ».

⁵⁸⁷ « [Rapport sur l'impact environnemental du Budget de l'État](#) », 2024

⁵⁸⁸ Collet et al. (2023), "[Air Passenger Taxes and High Speed Railways Decrease Co2 Emissions from Aviation: Evidence from Europe](#)"

⁵⁸⁹ Gambuli (2023), "[Redefining Commuting: High-Speed Railways and Workers' Mobility in France](#)"

⁵⁹⁰ Cf. la revue de littérature dans Ahlvik et Sahari (2023) "[Promoting active transport through health information: evidence from a randomized controlled trial](#)"

ENCADRÉ 5

Le Deutschlandticket a conduit à un report modal modéré

La mesure allemande du *Deutschlandticket*, en vigueur depuis le 1^{er} mai 2023, consiste en un abonnement permettant d'utiliser l'ensemble des transports régionaux et urbains (hors trains à grande vitesse) en Allemagne pour 49 € par mois, subventionné par l'État fédéral et les Länder, pour un coût direct pour les finances publiques de 3 Md€/an. Le ticket est populaire en Allemagne (plus de 10 millions d'abonnés en août 2023), où il constitue un choc de simplification dans un pays où les zones tarifaires et les supports de billettique sont extrêmement morcelés.

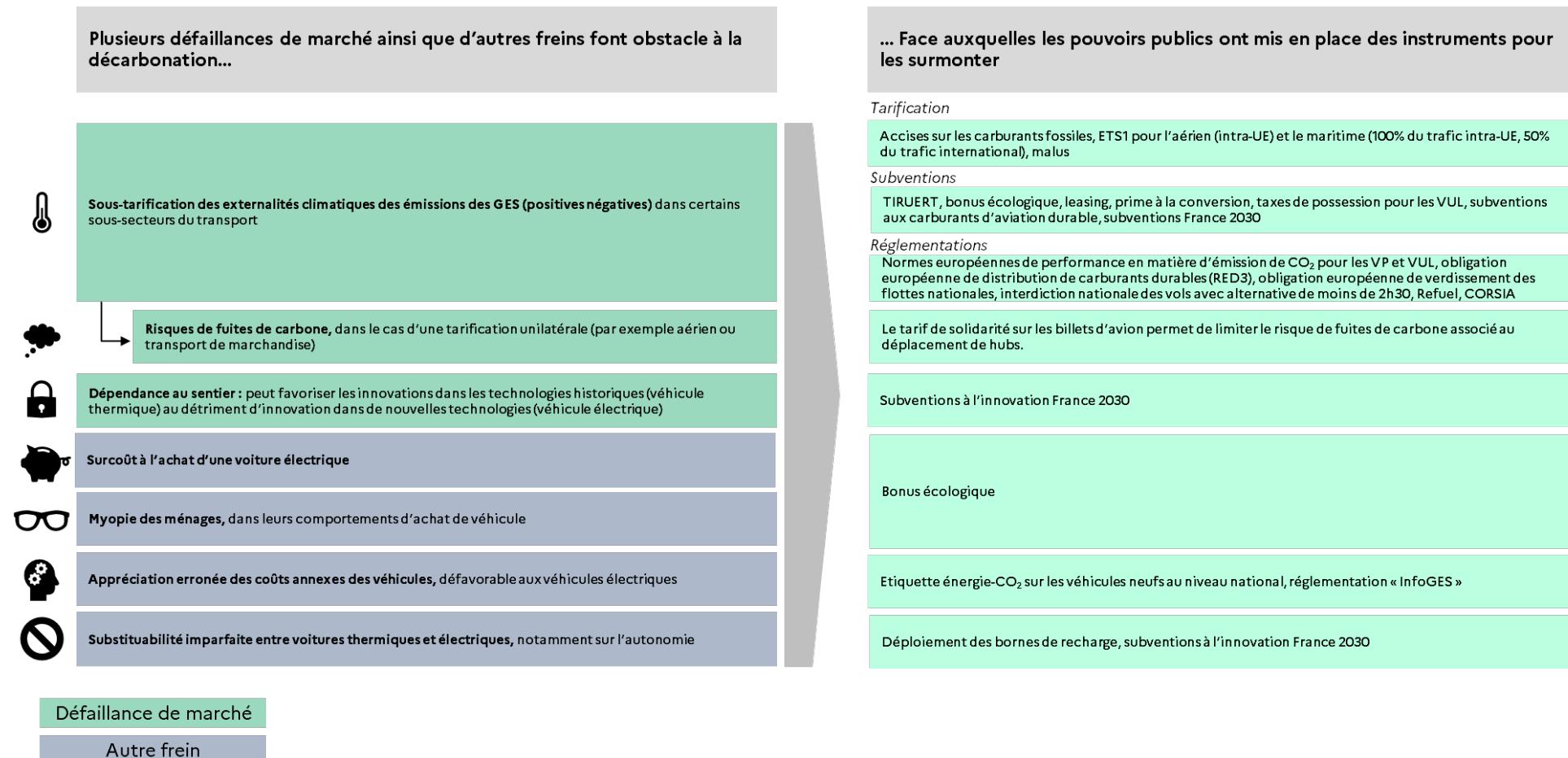
L'impact environnemental de la mesure reste incertain, et hétérogène selon les études. L'une⁵⁹¹ estime que le report modal depuis la voiture est seulement de 5 % des trajets effectués et que 90 % des abonnés étaient déjà des usagers des transports en commun. Certaines études notent néanmoins une amélioration de la qualité de l'air du fait de l'introduction du ticket à 9 € en Allemagne, qui a précédé le *Deutschlandticket*⁵⁹². Une autre étude⁵⁹³ estime que le *Deutschlandticket* aurait conduit à une baisse de 5 % des émissions de GES du transport ; et davantage de report modal.

⁵⁹¹ D'après une [enquête de la fédération des transporteurs VDV](#), publiée début septembre

⁵⁹² Cf. Kürschner Rauck et Aydin (2023), "[Public Transport Subsidization and Air Pollution: Evidence from the 9-Euro-Ticket in Germany](#)" et Gohl et Schrauth (2022), "[Ticket to Paradise? The Effect of a Public Transport Subsidy on Air Quality](#)"

⁵⁹³ Ariadne (2024), « [Die Effekte des D-Tickets im ersten Jahr](#) »

GRAPHIQUE 8
Instruments déployés pour surmonter les défaillances de marché et autres freins faisant obstacle à la décarbonation



11 Les enjeux économiques de la décarbonation de l'agriculture

Message clés

La SNBC prévoit d'accélérer les tendances de décarbonation de l'agriculture à horizon 2030.

- Les émissions directes de l'agriculture française (puits de carbone agricole inclus) représentent environ 20 % des émissions territoriales en 2020, et ont diminué d'environ 20 % depuis 1990. La SNBC prévoit une réduction des émissions agricoles territoriales directes de 35 % d'ici 2030 par rapport à 1990 (soit environ -20 % par rapport à 2020).
- La planification écologique prévoit de faire baisser les émissions par le biais de plusieurs leviers au niveau de l'offre et de la demande.
- La prolongation de certaines tendances en cours contribuerait également à l'atteinte des objectifs. Par exemple la tendance de consommation de viande rouge par personne, la plus émissive, est déjà orientée à la baisse (-14 % entre 2000 et 2020), et celle de légumes secs, à la hausse (+33 % entre 2010 et 2020).
- La décarbonation de l'alimentation sera une opportunité de renforcer la souveraineté alimentaire.

L'agriculture française bénéficie déjà d'une intensité en émissions relativement faible, qu'elle pourrait encore améliorer en mobilisant des leviers de décarbonation relativement peu coûteux.

- L'agriculture française bénéficie déjà d'une intensité en émissions relativement faible par rapport aux principaux producteurs mondiaux pour les productions végétales (blé, maïs) et certains types d'élevage (élevage porcin notamment).
- Plusieurs leviers techniques de décarbonation dans l'agriculture présentent un coût d'abattement théorique faible ou modéré, principalement dans les cultures, ainsi qu'un potentiel de décarbonation important. Le plus grand potentiel théorique d'abattement technique à bas coût vient du déploiement de l'agroforesterie, qui permet de stocker du carbone en associant des arbres à une culture agricole et/ou de l'élevage. Toutefois, certains freins au déploiement de ces leviers existent, induisant autant de coûts additionnels.

La décarbonation de l'agriculture fait face à plusieurs défaillances de marché et freins, en sus de l'externalité climatique.

- Concernant l'offre, la décarbonation peut faire peser un coût supplémentaire sur les agriculteurs, alors que nombre d'entre eux font déjà face à une situation socioéconomique difficile, limitant leur capacité à absorber ces surcoûts. De surcroît, le système agroalimentaire est actuellement fortement structuré autour de pratiques et productions conventionnelles, ce qui complique la pénétration des méthodes de production bas-carbone dans les cultures. Par exemple, cela réduit les débouchés des producteurs de légumineuses dans l'industrie agroalimentaire et augmente leurs coûts de logistique par rapport aux cultures dominantes comme le blé.
- Concernant la demande, une décarbonation non accompagnée pourrait peser sur le pouvoir d'achat alimentaire, notamment pour les ménages modestes, bien que la substitution de la consommation de viande par des produits végétaux contribue à réduire le coût de l'alimentation. L'information incomplète et la rigidité des pratiques alimentaires freinent

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

l'adoption de régimes bas-carbone. À l'inverse, la décarbonation de l'alimentation, dans la mesure où elle se traduit par un meilleur alignement des régimes avec les recommandations nutritionnelles, pourrait permettre des gains sanitaires importants.

La tarification des émissions de gaz à effet de serre (GES) a été peu mobilisée dans l'agriculture au profit d'instruments de nature subventionnelle, réglementaire ou informationnelle.

- De nombreuses mesures de nature incitative, réglementaire et informationnelle ont été déployées pour la décarbonation de l'agriculture et de l'alimentation en France, ou y contribuent indirectement tout en visant d'autres objectifs (e.g., de santé publique). La plupart d'entre elles ont eu un impact limité sur les émissions (e.g., Egalim 1) ou n'ont pas encore fait l'objet d'évaluations complètes (e.g., plan de soutien au développement des protéines végétales). D'autres dispositifs plus directement liés à la décarbonation se développent mais restent marginaux aujourd'hui (e.g., crédits carbone agricoles). Les interprofessions de plusieurs filières (produits laitiers, viande bovine, céréales) ont également élaboré des feuilles de route pluriannuelles de décarbonation, en cours de mise en œuvre, permettant de coordonner les différents acteurs.
- En France, la tarification effective des émissions de GES agricoles est de 5 €/tCO₂éq en 2023 et provient essentiellement de l'accise sur les énergies. Aucune tarification ne s'applique aux émissions non-énergétiques de l'agriculture, qui représentaient environ 85 % de ses émissions directes en 2023 (puits de carbone agricole non inclus).
- La tarification des émissions de GES agricoles pourrait être efficace du fait de l'élasticité-prix relativement élevée des consommations alimentaires émissives (proche de -1 pour la plupart des viandes) et de la consommation des intrants émissifs à long-terme (-0,9 pour les engrains). L'élasticité-prix des émissions négatives agricoles (stockage de carbone) est incertaine. Il existe toutefois des risques importants à maîtriser et des défis à relever, notamment par le biais de mesures complémentaires (fuites de carbone, difficultés techniques de mise en œuvre, effets distributifs, acceptabilité sociale).
- Des pays étrangers envisagent de mettre en place une tarification carbone agricole (Danemark, Canada), tandis que d'autres y ont récemment renoncé (Nouvelle-Zélande).

11.1 La stratégie de décarbonation de l'agriculture implique des évolutions de l'offre et de la demande qui auront des répercussions économiques, et s'articule avec d'autres objectifs de politique publique

11.1.1 L'atteinte de la neutralité carbone implique des modifications de l'offre, en parallèle d'une évolution des pratiques alimentaires des consommateurs

À horizon 2030, les éléments préliminaires du projet de SNBC 3 prévoient une réallocation de la production et de la consommation domestiques vers des alternatives bas-carbone⁵⁹⁴. Concernant l'offre, la SNBC fait l'hypothèse d'une diminution du cheptel et de la production de viande domestiques, en supposant un ralentissement de la baisse tendancielle observée (de -8 % entre 2015 et 2020 pour le cheptel bovin). Les cheptels bovins et porcins diminueraient environ de 10 % à horizon 2030 par rapport à 2020, se traduisant par une réduction à peu près équivalente des productions bovines et porcines. En revanche, d'autres productions croîtraient avec la transition, comme celles de légumineuses. Concernant la demande, la SNBC prévoit une réduction de la consommation de viande, en parallèle d'un report vers des protéines végétales

⁵⁹⁴ Gouvernement (2024) : "[Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3. Premières grandes orientations à l'horizon 2030 et enjeux à l'horizon 2050](#)".

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

bas-carbone comme les légumes secs. Les tendances passées de moyen terme sont favorables à cet égard : la tendance de consommation par personne de viande rouge, la plus émissive, est déjà orientée à la baisse (-14 % entre 2000 et 2020), et celle de légumes secs, à la hausse depuis 2010 (+33 % entre 2010 et 2020).

Ces réallocations de l'offre et de la demande, combinées avec la mobilisation d'autres leviers techniques et comportementaux, devraient permettre de faire baisser les émissions agricoles territoriales directes (puits de carbone agricole inclus) de 35 % d'ici 2030 par rapport à 1990 (environ -20 % par rapport à 2020)⁵⁹⁵. Concernant l'offre, plusieurs leviers techniques pourraient être mobilisés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour l'élevage de ruminants, il s'agit par exemple de la modification de la ration des ruminants pour réduire les émissions de méthane. Pour les cultures, une meilleure maîtrise de la fertilisation azotée avec l'optimisation des apports et le développement des couverts végétaux entre deux cultures permettraient de réduire les émissions de protoxyde d'azote. Enfin, mais dans une moindre mesure, la réduction de la consommation d'énergie et la décarbonation des engins agricoles pourraient également contribuer à la décarbonation de l'offre. Concernant la demande, au-delà de l'évolution des régimes alimentaires, d'autres leviers comportementaux pourraient réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) agricoles comme une diminution du gaspillage alimentaire.

La décarbonation de l'alimentation sera une opportunité de renforcer la souveraineté alimentaire.

ENCADRÉ 1

Le puits de carbone naturel en France : le rôle des forêts et des sols pour l'atteinte de la neutralité carbone en 2050

La séquestration nette de carbone dans les forêts et les sols via le captage de CO₂ atmosphérique par photosynthèse, dit « puits de carbone naturel », contribue à la réduction de la concentration des gaz à effets de serre dans l'atmosphère. Une hausse importante de ce puits⁵⁹⁶ en France entre 1990 et 2004, de -18 MtCO₂éq/an à -54 MtCO₂éq/an, était intervenue en raison de l'augmentation des surfaces boisées liée au recul des surfaces agricoles⁵⁹⁷, ainsi que de la réduction des émissions nettes des terres cultivées (qui sont structurellement positives).

Le puits de carbone naturel a décrû fortement en France depuis 2005, pour atteindre -18 MtCO₂éq en 2022, en partie à cause du changement climatique. Tandis que certains postes comme les zones artificialisées et les terres cultivées, sont restés émetteurs nets, respectivement de 6 MtCO₂/an et 10 MtCO₂éq/an, les absorptions des forêts ont chuté de -64 MtCO₂éq/an en 2005 à -35 MtCO₂éq/an en 2022. Certaines forêts sont même devenues localement émettrices nettes de CO₂. Cela s'explique par l'accroissement de la mortalité des arbres dû à l'aggravation des régimes de perturbation par plusieurs facteurs dont le changement climatique⁵⁹⁸, se traduisant par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, des maladies et parasites, ainsi qu'une multiplication et une aggravation des feux de forêts. À ces facteurs s'ajoute le ralentissement de la croissance des arbres lié à leur vieillissement et à des conditions climatiques localement moins propices, elles aussi causées par le changement

⁵⁹⁵ Gouvernement (2024) : "[Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3. Premières grandes orientations à l'horizon 2030 et enjeux à l'horizon 2050](#)".

⁵⁹⁶ Les données de puits de carbone sont estimées en variation du stock (flux de carbone) d'une année à l'autre, et non pas en termes de stock sur une année donnée.

⁵⁹⁷ Citepa (2024) « [Inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques](#) »

⁵⁹⁸ Il s'agit notamment de l'évolution de la surface et de la composition des forêts. Cf. Seidl R. et al (2011), [Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe](#)

climatique. Ainsi, sans actions supplémentaires, une forte chute du puits de carbone forestier français pourrait être observée d'ici 2050, le menant à être émetteur net dans les scénarios les plus pessimistes⁵⁹⁹.

Une trop forte dégradation du puits forestier remettrait en cause les objectifs climatiques. Au niveau européen, l'objectif de réduction de -55 % des émissions de gaz à effets de serre d'ici 2030 est défini en net, en tenant compte des absorptions de carbone naturelles et technologiques. Chaque État membre de l'UE a un objectif contraignant pour le puits de carbone naturel à l'horizon 2030⁶⁰⁰ : pour la France, cet objectif consiste en une absorption annuelle supplémentaire 6,7 MtCO₂éq/an par rapport à la moyenne de 2016-2018, soit une absorption annuelle totale de 34 MtCO₂éq d'après les données d'inventaire de 2020⁶⁰¹.

Le projet de troisième Stratégie nationale bas-carbone (SNBC 3)⁶⁰² présente plusieurs leviers d'action pour limiter la chute du puits de carbone naturel en France. La préservation des écosystèmes forestiers s'appuierait sur des mesures de renouvellement forestier avec des peuplements plus diversifiés et adaptés aux nouvelles conditions climatiques, d'adaptation de la gestion sylvicole, ainsi que de lutte contre les incendies. En outre, le stockage de carbone dans les produits en bois à longue durée de vie serait augmenté, notamment dans la construction, et pourrait permettre au bois de se substituer à des matières premières émettrices comme le béton ou l'acier. De plus, le rythme de consommation des terres agricoles, naturelles et forestières serait réduit. Enfin, plusieurs mesures seraient mises en œuvre pour améliorer le stockage de carbone dans les sols agricoles (agroforesterie, développement des haies), et conserver le stock existant (moindre retournement des sols, maintien des prairies permanentes).

Sur la base de ces leviers, le projet de SNBC 3 fait l'hypothèse d'un puits de carbone de -19 MtCO₂éq en 2030. Pour l'horizon 2050, les travaux en cours viseront à définir une trajectoire conforme à l'objectif de neutralité carbone, dans un contexte d'incertitudes fortes concernant les projections du puits de carbone forestier, dont toute dégradation implique de renforcer l'effort de décarbonation brut des autres secteurs. L'enjeu à cet horizon est également d'assurer une cohérence avec l'objectif d'équilibre entre l'offre et la demande de biomasse (« bouclage biomasse »).

11.1.2 L'agriculture française est déjà relativement performante sur le plan climatique pour les productions végétales et certaines productions animales

L'intensité en émissions de la production française se situe proche de la « frontière technologique » pour les grandes cultures, et dans la médiane pour les produits issus de l'élevage (cf. Graphique 1). D'après des données de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) pour 2010, la France fait partie des pays les plus performants en émissions pour le blé et le maïs. Son intensité en émissions est inférieure à la moyenne européenne (de -18 à -30 %), du fait d'une efficience relative dans l'utilisation d'engrais et la consommation d'énergie. En revanche, elle se situe dans la médiane des principaux producteurs pour les produits issus de l'élevage⁶⁰³, avec une intensité en émissions légèrement plus élevée que la moyenne UE (de +2 à +19 %), à part pour l'élevage porcin où elle est le cinquième producteur mondial le plus performant en émissions. La moins bonne performance de la France pour la

⁵⁹⁹ Rapport IGN-FCBA (2024), « [Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français](#) », p.65.

⁶⁰⁰ Le règlement (UE) 2018/241 du Parlement européen et du Conseil relatif à la prise en compte des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie du 30 mai 2018, modifié en avril 2023, fixe un objectif global pour le puits de carbone naturel de l'UE à l'horizon 2030, décliné en objectifs pour chaque État membre.

⁶⁰¹ Cependant, le rapport national d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre étant soumis à des évolutions méthodologiques régulières améliorant sa précision et pouvant être significatives, l'objectif français pour le puits de carbone naturel à horizon 2030 ne pourra être arrêté précisément qu'en 2032

⁶⁰² Gouvernement (2024), « [Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3. Premières grandes orientations à l'horizon 2030 et enjeux à l'horizon 2050](#) ».

⁶⁰³ Les données de la FAO sont disponibles pour la viande bovine, le lait, la viande de volaille et la viande porcine.

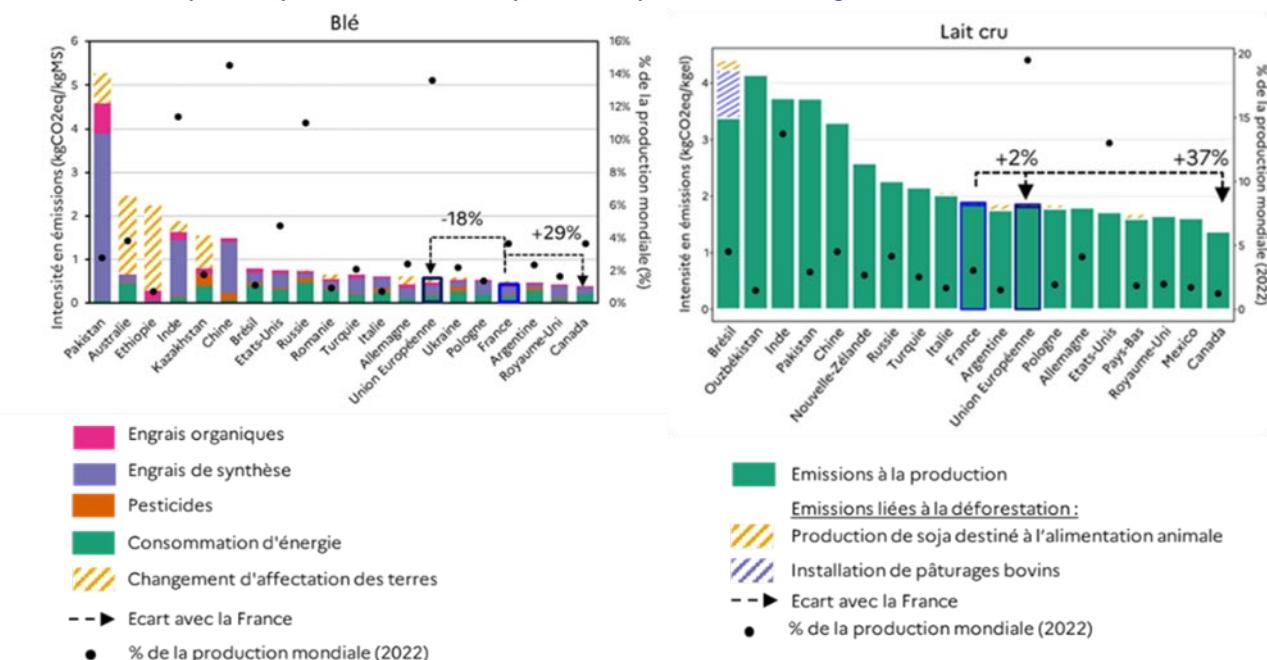
Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

viande bovine et le lait pourrait être due à une plus grande part d'élevage extensif et/ou allaitant⁶⁰⁴, tous deux moins performants du point de vue climatique que l'élevage intensif et/ou laitier⁶⁰⁵ hors puits de carbone des sols agricoles. La baisse de l'élevage extensif, si elle conduit à un retournement de prairies pour y installer des cultures, pose également un risque en matière de décarbonation puisque cela impliquerait un déstockage de carbone important⁶⁰⁶.

Cette analyse ne prend pas en compte les enjeux environnementaux hors-climat, sanitaires et de bien-être animal liés à la production agricole. En particulier, l'élevage extensif produit des externalités positives qui concourent aux objectifs non climatiques de la planification écologique (biodiversité par exemple) comme la préservation des écosystèmes prairiaux⁶⁰⁷, omises par une approche focalisée sur les émissions de GES.

GRAPHIQUE 1

Intensité en émissions du blé et du lait cru, qui représentent respectivement la production avec la valeur la plus importante en 2023 parmi les productions végétales et animales françaises



Sources : bases de données [LEAP](#) et [Gleam](#) de la FAO pour les intensités en émissions ; [FAOSTAT](#) pour les données de production.

Notes : seules les émissions de l'amont jusqu'en sortie de ferme sont prises en compte. Pour chaque production, seuls les 20 premiers producteurs (en quantités produites) ainsi que la France et l'Union européenne (UE) sont présentés. L'intensité en émissions de l'UE correspond à la moyenne des intensités en émissions de pays de l'UE pondérée par leur production. Les données de production correspondent à l'année 2022 (données les plus récentes disponibles) tandis que les intensités en émissions reflètent l'année 2010. Ces données comportent plusieurs limites. Les changements indirects d'affectation des terres, correspondant aux modifications d'affectation des sols dans d'autres zones géographiques provoquées par la mise en culture de ces productions, ne sont pas pris en compte. Dans le cas de l'élevage, seule la déforestation liée à l'expansion des cultures de soja et du pâturage bovin est prise en compte dans les changements d'affectation des terres, tandis que pour les cultures l'ensemble des changements d'affectation des terres sont pris en compte (i.e., conversion de forêts et prairies en cultures). Les émissions directes des sols agricoles ne sont pas non plus prises en compte.

Note de lecture : l'intensité en émissions du blé français est 18 % inférieure à celle de la moyenne de l'UE mais 29 % supérieure à celle du Nigéria. L'intensité en émissions du lait français est 2 % supérieure à celle de la moyenne de l'UE et 37 % supérieure à celle du Canada.

⁶⁰⁴ L'élevage allaitant a pour objectif de produire de la viande, contrairement à l'élevage laitier où l'objectif est de produire du lait.

⁶⁰⁵ En élevage extensif, l'alimentation moins digeste du bétail et sa durée de vie plus longue augmentent les émissions de méthane. Cette forme d'élevage consomme aussi davantage de terres, réduisant la séquestration du carbone. Sources : Vries et al (2015), "[Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments](#)"; Blaustein-Rejto et al (2023), "[Carbon opportunity cost increases carbon footprint advantage of grain-finished beef](#)". L'élevage allaitant est plus émissif que l'élevage laitier dont les émissions sont réparties entre la viande et les coproduits, cf. Poore et al (2018), "[Reducing food's environmental impacts through producers and consumers](#)"

⁶⁰⁶ INRAE (2020), "[Stocker du carbone dans les sols français : Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?](#)"

⁶⁰⁷ La fabrique écologique (2022), "[Les prairies et l'élevage des ruminants au cœur de la transition agricole et alimentaire](#)", note n°44

11.1.3 L'agriculture française dispose de plusieurs leviers peu coûteux pour réduire ses émissions

L'étude des coûts d'abattement socioéconomiques (en « budget carbone »⁶⁰⁸) dans l'agriculture en France met en évidence plusieurs leviers techniques⁶⁰⁹ à coûts d'abattement faibles ou modérés, principalement dans les cultures, et dont le potentiel théorique de décarbonation est important (cf. Graphique 2). Dans les cultures, il s'agit de pratiques permettant un stockage du carbone dans la biomasse et le sol : agroforesterie⁶¹⁰ (14 €/tCO₂éq), haies (80 €/tCO₂éq), couverts intermédiaires⁶¹¹ (82 €/tCO₂éq), ou encore d'une réduction de la fertilisation azotée minérale⁶¹² via le remplacement de cultures de céréales par des légumineuses (pois, soja, etc.), qui n'ont pas besoin d'apport d'azote minéral⁶¹³ (27 €/tCO₂éq). Une détermination plus juste des doses optimales d'azote à apporter⁶¹⁴ aurait même un coût d'abattement négatif (-48 €/tCO₂éq) : cette pratique est rentable pour l'agriculteur sous certaines conditions, mais elle est peu déployée (aversion au risque, formation insuffisante)⁶¹⁵. En élevage, les leviers techniques présentent des coûts d'abattement plus élevés. Ils portent principalement sur la valorisation des effluents d'élevage et la modification de l'alimentation animale. Les coûts d'abattement varient en fonction des régions avec les différences de rentabilité des productions (coût d'opportunité variable) et de sols (déjà plus ou moins riches en carbone), appelant à privilégier des politiques publiques adaptées au niveau local. Certains freins au déploiement de ces leviers existent, induisant autant de coûts additionnels non pris en compte dans cette analyse (cf. *infra*). Ces leviers de décarbonation de l'offre nécessiteraient *a minima* des investissements supplémentaires d'1 Md€/an d'ici 2030 par rapport à 2021, sans préjuger de la répartition du financement entre les secteurs public et privé⁶¹⁶.

⁶⁰⁸ Un coût d'abattement dit en « budget carbone » correspond à la valeur actualisée nette des coûts et bénéfices d'un changement de méthode de production par rapport au statu quo (i.e., mode de production conventionnel), rapportée aux émissions évitées. Avec cette méthode de calcul, le coût d'abattement ne peut être directement comparé à la Valeur de l'Action pour le Climat (VAC) pour évaluer la pertinence socioéconomique d'une action, contrairement au coût d'abattement dit « ajusté à la VAC ». Cf. France Stratégie (2021), « [Les coûts d'abattement. Partie 1 - Méthodologie](#) ».

⁶⁰⁹ Les leviers présentés ici correspondent aux principaux leviers de décarbonation pour lesquels des données sont disponibles. Ils ne sont pas exhaustifs.

⁶¹⁰ L'agroforesterie consiste à planter des arbres au sein de parcelles de cultures ou de prairies, souvent en lignes parallèles, et à cultiver entre. Ces plantations se limitent à la périphérie de la parcelle dans le cas d'une haie

⁶¹¹ Les couverts intermédiaires sont des cultures s'intercalant pendant quelques mois, l'hiver ou l'été, entre deux cultures classiques. Non récoltées, elles permettent d'enrichir le sol en matière organique (carbone) et en azote.

⁶¹² Les fertilisants azotés minéraux produits en usine permettent d'augmenter les rendements agricoles mais génèrent des externalités environnementales négatives (gaz à effet de serre, pollution de l'eau et de l'air...)

⁶¹³ On considère donc en particulier une baisse des coûts liés à ce poste, en plus d'une évolution des recettes liées à la culture de céréales remplacée et à la culture suivante (dont la nature/le rendement peut être affecté). Ces cultures, essentiellement à destination de l'alimentation animale, sont encouragées dans la SNBC afin de réduire aussi nos dépendances aux importations (objectif de réduction de 50 % du soja importé).

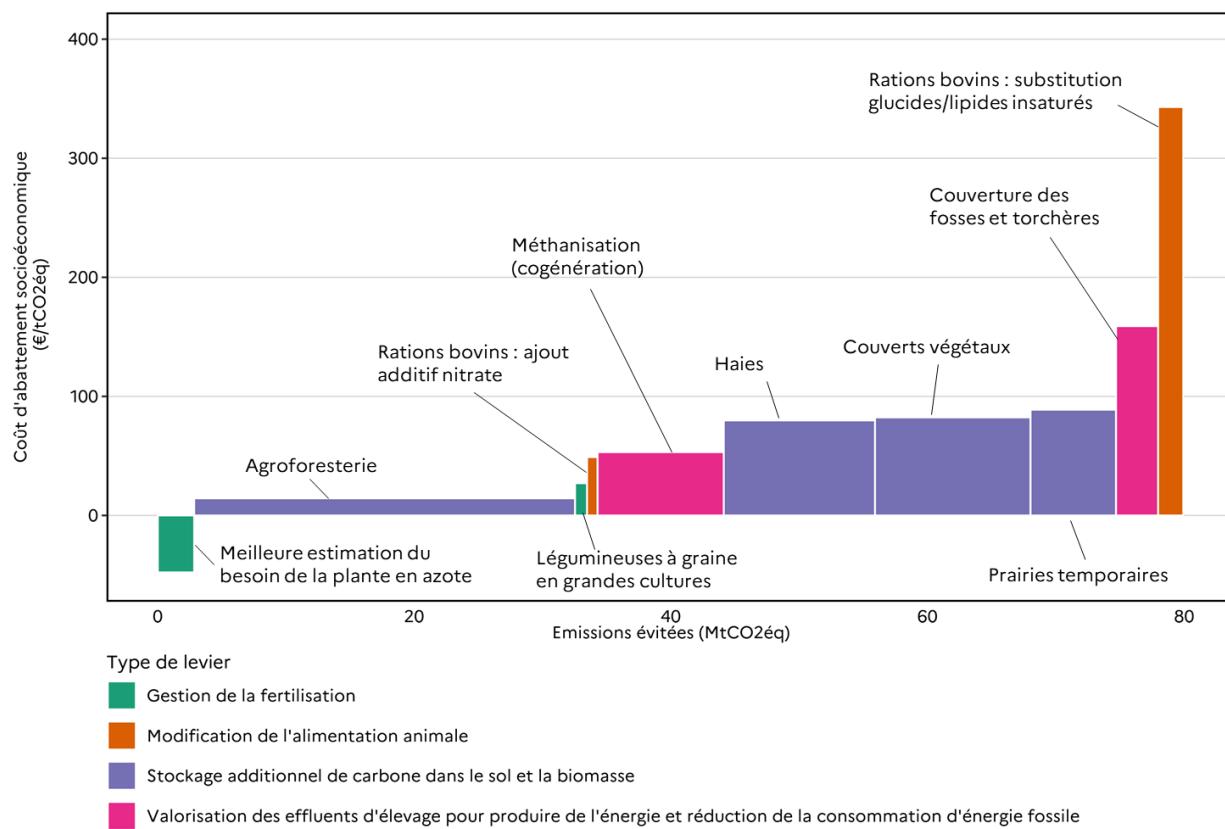
⁶¹⁴ L'optimisation des intrants azotés consiste à mieux évaluer les entrées et sorties d'azote dans le champ via l'utilisation d'outils d'aide à la décision par exemple, en prenant un risque sur le rendement.

⁶¹⁵ I Care & Consult, INRAE, CERÉOPA (2017), « [Analyse des freins et des mesures de déploiement des actions d'atténuation à coût négatif dans le secteur agricole : couplage de modélisation économique et d'enquêtes de terrain](#) ».

⁶¹⁶ Ces estimations sont une borne basse car elles s'appuient sur la SNBC 2, moins ambitieuse que la SNBC 3, et sur un nombre limité de leviers de décarbonation concernant la transition énergétique du secteur (e.g., électrification des engins) par rapport à ceux analysés par la Commission Criqui. Gourmand L. (2024), « [Quels besoins d'investissement pour les objectifs français de décarbonation en 2030 ?](#) », Document de travail °2024/2, DG Trésor

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

GRAPHIQUE 2
Coûts d'abattement de quelques pratiques de décarbonation,
calculés avec la méthode en « budget carbone »



Sources : France Stratégie et DG Trésor⁶¹⁷, sur la base des données de Ben Fradj et Bamière (2021) « Atténuer les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole », Étude régionale pour l'ADEME, Bamière et al. (2023) « Réduction des émissions de gaz à effet de serre permise par le stockage additionnel de carbone sur les terres agricoles Françaises : courbe de coût marginal d'abattement » ; traitement France Stratégie (méthode de calcul « budget carbone »), mise en forme DG Trésor.

ENCADRÉ 2

Synergies entre réduction des émissions de GES et performance économique dans le cas de la production laitière française AOC et biologique

La réduction des émissions de GES ne s'oppose pas systématiquement à la performance économique. Une analyse par Lambotte et al. (2021) sur 95 exploitations laitières labellisées appellation d'origine contrôlée (AOC) en Franche-Comté et en Savoie entre 2013 et 2015 a montré que plusieurs leviers de réduction de l'empreinte carbone, permettant de réduire les émissions jusqu'à 13 %, n'avaient pas eu d'impact négatif sur la marge brute des exploitations⁶¹⁸. Une analyse par les mêmes auteurs d'un échantillon de 3 074 fermes laitières françaises entre 2013 et 2015 montre que la production laitière en bio réduit les émissions de 11 % par rapport à la production conventionnelle (changements d'usage des terres inclus), sans réduire la marge brute des exploitations par unité de travail⁶¹⁹. Cela s'explique par des prix à

⁶¹⁷ Résultats provisoires, obtenus dans le cadre de la préparation d'un rapport de la commission Criqui sur les coûts d'abattement en agriculture.

⁶¹⁸ Lambotte et al. (2021), « [Carbon footprint and economic performance of dairy farms: the case of protected designation of origin dairy farms in France](#) ».

⁶¹⁹ Lambotte et al. (2023), « [Organic farming offers promising mitigation potential in dairy systems without compromising economic performances](#) ».

la vente 23 % plus élevés traduisant une différenciation par la qualité, et des coûts variables plus faibles du fait de moindres consommations intermédiaires liées à la fertilisation et à l'alimentation du bétail, permettant de compenser les pertes de rendement. La marge brute par unité produite est environ 50 % supérieure pour la production laitière en bio. Certaines études trouvent même de meilleurs résultats économiques dans les exploitations bio par rapport à des exploitations conventionnelles comparables⁶²⁰. Toutefois, les difficultés rencontrées par l'agriculture biologique depuis 2021⁶²¹, avec une réduction des volumes vendus, sont susceptibles de peser sur ces modèles économiques. Ces productions sous signe de qualité ne sont en outre pas généralisables à l'ensemble du secteur agricole.

11.1.4 L'agriculture est à la croisée de nombreux objectifs de politique publique, avec lesquels doit s'articuler la stratégie de décarbonation

L'agriculture est à la croisée de nombreux objectifs de politique publique avec lesquels doit s'articuler sa stratégie de décarbonation. Ces derniers peuvent être en synergie ou antagonistes à la décarbonation. Ils sont de nature socioéconomique (e.g., soutien du niveau de vie des agriculteurs, du pouvoir d'achat alimentaire et de la cohésion sociale des territoires ruraux), environnementale (e.g., préservation de la biodiversité^{622,623}, des habitats et de la santé des sols et de l'eau⁶²⁴), sanitaire⁶²⁵ (e.g., lutte contre les pollutions locales de l'air⁶²⁶, promotion d'une alimentation saine - cf. Encadré 3 – , lutte contre l'obésité⁶²⁷), stratégique (e.g., souveraineté et sécurité alimentaires) et autre (e.g., bien-être animal)^{628,629,630}. L'adaptation au changement climatique représente également un défi clé pour le système alimentaire, qui y est très fortement exposé. Ces autres objectifs peuvent présenter des synergies ou des antagonismes avec la décarbonation (cf. Encadré 3), qui doivent être approfondis.

⁶²⁰ France Stratégie (2020), « [Améliorer les performances économiques et environnementales de l'agriculture : les coûts et bénéfices de l'agroécologie](#) », Document de travail n°2020-13

⁶²¹ Site internet de l'Agence Bio, « [Evolution des ventes de produits alimentaires bio](#) ».

⁶²² France Stratégie (2024), « [Mettre en valeur\(s\) la biodiversité : état des lieux et perspectives](#) », Note d'Analyse 147.

⁶²³ DG Trésor (2021), « [Évaluations économiques des services rendus par la biodiversité](#) », Trésor-Eco n° 294.

⁶²⁴ En 2011 et en prenant uniquement en compte les coûts marchands de dépollution, le CGDD estimait le surcoût pour la collectivité lié aux principales pollutions agricoles de l'eau (engrais azotés, pesticides) entre 1,1 et 1,7 Md€/an. Cf. CGDD (2011), « [Coût des principales pollutions agricoles de l'eau](#) », Etudes et documents n° 52.

⁶²⁵ D'autres enjeux sanitaires peuvent être mentionnés, comme la lutte contre la pollution de l'eau et contre l'antibiorésistance.

⁶²⁶ DG Trésor (2020), [Le rôle des instruments économiques dans la lutte contre la pollution de l'air](#).

⁶²⁷ En 2016, la DG Trésor estimait le coût social de l'obésité et du surpoids à hauteur de 20 Md€, soit 1 % du PIB. Cette estimation prend en compte les coûts directs pour les finances publiques (e.g. surcoût pour l'assurance maladie) et les coûts externes indirects pour la collectivité (e.g. pertes de production liées à l'obésité). DG Trésor (2016), « [Obésité : quelles conséquences pour l'économie et comment les limiter ?](#) », Trésor-Eco n°179.

⁶²⁸ Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (2023), « [Plan Stratégique National de la PAC 2023-2027](#) ».

⁶²⁹ Ministère des Solidarités et de la santé (2019), « [Programme national nutrition santé 2019-2023](#) ».

⁶³⁰ [Site de la Commission Européenne](#)

ENCADRÉ 3

Exemples de co-bénéfices et d'antagonismes entre la décarbonation de l'agriculture et de l'alimentation et d'autres enjeux de politique publique

Une limitation de la consommation de viande rouge, très émissive en GES, et un rééquilibrage des régimes alimentaires vers les recommandations nutritionnelles, serviraient à la fois la transition vers la neutralité carbone et les objectifs de santé publique. La neutralité carbone nécessite une réorientation des régimes alimentaires vers davantage de légumes et moins d'apports carnés, comme énoncé dans la synthèse du plan du SGPE⁶³¹. Par rapport aux recommandations nutritionnelles⁶³², les Français consomment trop de viande⁶³³ (rouge et de porc, souvent transformée), et pas assez de légumes et légumineuses. Cela accroît les risques d'un grand nombre de maladies⁶³⁴ et contribue à la prévalence de l'obésité et du surpoids⁶³⁵. Ainsi, 2 % des nouveaux cas de cancers en France seraient attribués à une consommation trop élevée de viande transformée ou rouge⁶³⁶. Il n'existe pas d'estimation pour la France des gains en santé générés dans un scénario d'adoption de régimes alimentaires alignés à la fois avec les objectifs climatiques et les recommandations nutritionnelles. Ces estimations existent pour le Royaume-Uni et l'Allemagne, avec respectivement 100 000 et 145 000 décès par an évités dans un tel scénario à horizon 2040⁶³⁷. Pour le Royaume-Uni, cela correspond à 1,4 % de la population projetée en 2040, à mettre en regard avec le taux de mortalité britannique de 9,5 % en moyenne sur la période 2020-2025 ; et pour l'Allemagne, 1,9 % de la population projetée en 2040 pour un taux de mortalité de 11,7 % en moyenne sur la période 2020-2025.

Certaines dimensions de la décarbonation de l'agriculture ont aussi des effets positifs ou négatifs sur d'autres enjeux environnementaux. Par exemple, la réduction de la fertilisation azotée diminue les émissions de protoxyde d'azote et contribue à diminuer la pollution aux nitrates, responsable de la dégradation de certains milieux aquatiques. En parallèle, elle peut aussi induire une perte de rendement, qui peut potentiellement être compensée dans l'hypothèse d'une production constante par la conversion de terres non cultivées (e.g. forêts, prairies) en cultures, détruisant alors des habitats naturels riches en biodiversité jouant par ailleurs un rôle de puits de carbone⁶³⁸.

⁶³¹ SGPE (2023) « [La planification écologique : la synthèse du plan](#) » (p. 60).

⁶³² Santé Publique France (2019) « [Adéquation aux nouvelles recommandations alimentaires des adultes âgés de 18 à 54 ans vivant en France](#) ».

⁶³³ Agreste (2021). « [La consommation de viande en France en 2021](#) ».

⁶³⁴ Santé Publique France (2019), op. cit.

⁶³⁵ Trésor Eco (2016) « [Obésité : quelles conséquences pour l'économie et comment les limiter ?](#) ».

⁶³⁶ CIRC (2018) « [Les cancers attribuables au mode de vie et à l'environnement en France métropolitaine](#) ».

⁶³⁷ Hamilton, Ian, et al. (2021), " [The public health implications of the Paris Agreement: a modelling study](#)." The Lancet Planetary Health 5.2; Insee (2020), [Espérance de vie et indicateurs de mortalité dans le monde. Données annuelles 2020-2025](#).

⁶³⁸ Villoria N. B. et al (2014), « [The Effects of Agricultural Technological Progress on Deforestation: What Do We Really Know?](#) ».

11.2 L'intervention publique pour décarboner l'agriculture et ses implications économiques

11.2.1 Plusieurs défaillances de marché et autres freins entravent la décarbonation

11.2.1.1 Défaillances de marché

La décarbonation du système alimentaire fait intervenir différents marchés en proie à plusieurs défaillances en sus de l'externalité climatique :

- **Externalités climatiques et risque de fuites de carbone.** Le système agricole produit des externalités climatiques négatives importantes, mais aussi des externalités climatiques positives par le biais du stockage de carbone dans les sols agricoles. Par ailleurs, l'exposition au commerce international du secteur agricole induit un risque de fuites de carbone par le canal de la compétitivité⁶³⁹ (cf. Chapitre 8, Encadré 1).
- **Concurrence imparfaite.** Dans certaines filières agricoles, les producteurs agricoles pâtissent du pouvoir de marché dont disposent les transformateurs industriels et les distributeurs. Cela permet à ces derniers d'imposer des marges élevées sur l'amont de la chaîne de valeur, pouvant faire obstacle à la décarbonation dans ces filières. L'existence d'un pouvoir de monopsonie détenu par les industriels au détriment des agriculteurs a notamment été établi pour la filière lait de vache⁶⁴⁰, et apparaît probable pour les filières maraîchère et bovine, où les revenus des ménages agricoles sont par ailleurs faibles. Bien que ce pouvoir de marché ne soit pas directement lié à la décarbonation, il peut l'entraver en réduisant les revenus des producteurs et leur capacité à absorber les surcoûts de la décarbonation (cf. *infra*).
- **Verrouillage organisationnel.** Le phénomène de verrouillage organisationnel peut exacerber les difficultés de déploiement des méthodes et productions bas-carbone, comme les légumineuses. L'organisation actuelle du système agroalimentaire repose sur une forte spécialisation des produits (céréales, au détriment des légumineuses) et bassins de production, ainsi que sur le recours intensif aux intrants de synthèse⁶⁴¹. Elle est héritée en partie de choix fait par l'Union européenne par le passé, consistant à soutenir une agriculture fortement consommatrice d'intrants notamment la filière céréalière. Ces choix ont ensuite été renforcés par des effets d'échelle et d'apprentissage et par la mise en œuvre de normes de production⁶⁴² ayant rendu encore davantage compétitives les productions dominantes par rapport à des productions alternatives moins émissives⁶⁴³ (e.g., écart de rendement croissant entre le blé et le pois depuis la fin des années 1980 en France). Cet état de fait pénalise économiquement les productions et systèmes alternatifs et limite leurs débouchés⁶⁴⁴. Dans le cas des légumineuses à graines, cela se matérialise par exemple en des difficultés de stockage. En effet, la plupart des silos existants sont adaptés pour accueillir de grands volumes d'un nombre limité de productions faisant l'objet d'une demande élevée comme le blé, de sorte à minimiser les coûts de stockage et s'aligner sur les attentes de l'industrie agroalimentaire. Les productions alternatives, comme les légumineuses, disposent donc de possibilités de stockage plus limitées, d'autant que le déploiement de nouveaux silos adaptés à ces cultures est ralenti par leur longue durée d'amortissement.

⁶³⁹ L'augmentation de la contrainte climatique dans un pays ou région du monde fait perdre en compétitivité-prix aux producteurs concernés relativement aux autres. Cela peut conduire à une perte de parts de marché sur les marchés intérieur et tiers, au profit de producteurs étrangers bénéficiant de contraintes climatiques moins fortes.

⁶⁴⁰ Avignon R. et Guigue E. (2022), « [Markups and Markdowns in the French Dairy Market](#) ».

⁶⁴¹ Meynard et al (2013), « [Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières](#) ».

⁶⁴² Par exemple, les procédés de transformation et de cuisson nécessitent une haute teneur protéique du blé, impliquant une plus forte utilisation d'engrais azotés dans les champs.

⁶⁴³ Magrini M.-B. et al (2016), « [Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system](#) ».

⁶⁴⁴ Magrini M.-B. et al (2016), *op. cit.*

- **Information imparfaite.** Le système alimentaire est caractérisé par des situations d'asymétrie d'information sur les attributs environnementaux et sanitaires des aliments tout au long de la chaîne de valeur, jusqu'aux consommateurs. Ces asymétries d'information peuvent donner lieu à des situations de sélection adverse lorsque des consommateurs sceptiques vis-à-vis des attributs affichés se détournent d'aliments pourtant durables⁶⁴⁵. Par exemple, seuls 41 % des consommateurs estiment pouvoir faire confiance aux produits estampillés bio, d'après le baromètre annuel de l'Agence bio pour 2023, proportion en baisse depuis 2017⁶⁴⁶. Par ailleurs, sans être toujours asymétrique, l'information sur les divers attributs (environnementaux, sanitaires etc.) des aliments est incomplète et difficile à appréhender pour les consommateurs⁶⁴⁷, malgré les dispositifs informationnels existants. Cela pourrait donner lieu à des choix de consommation plus émissifs que ceux qu'ils souhaiteraient, s'ils valorisent le caractère bas-carbone des aliments ou d'autres attributs corrélés à une faible empreinte carbone (e.g. santé).

11.2.1.2 Autres freins à la décarbonation

- **Difficultés socioéconomiques des producteurs.** Une partie des agriculteurs, travaillant dans les secteurs agricoles les plus émissifs, fait face à une situation socio-économique difficile avec de faibles revenus. En moyenne, le niveau de vie des ménages agricoles est comparable à celui de l'ensemble des ménages français en activité⁶⁴⁸. Ce niveau de vie est cependant associé à une charge de travail plus importante : en 2022 les agriculteurs travaillaient en moyenne 15 heures par semaine de plus que l'ensemble de la population et ils déclaraient plus régulièrement travailler le soir, la nuit, le samedi et le dimanche. Les disparités de revenus entre les agriculteurs sont fortes, dépendant en particulier de paramètres économiques propres aux exploitations, dont la taille, mais aussi le type de production agricole. Les secteurs les plus émissifs, en particulier l'élevage bovin, sont aussi ceux qui sont caractérisés par les plus bas revenus (cf. Graphique 4) et le plus haut niveau de pauvreté. Le revenu s'établissait en moyenne sur 2017-2022 à 20 000 € pour les élevages bovins viande contre près de 55 000 € pour les grandes cultures et 53 000 € pour la viticulture. De plus, les revenus des agriculteurs sont soumis à des fluctuations annuelles conjoncturelles aiguës du fait de la dépendance des rendements au climat et des fluctuations des marchés mondiaux de denrées alimentaires.

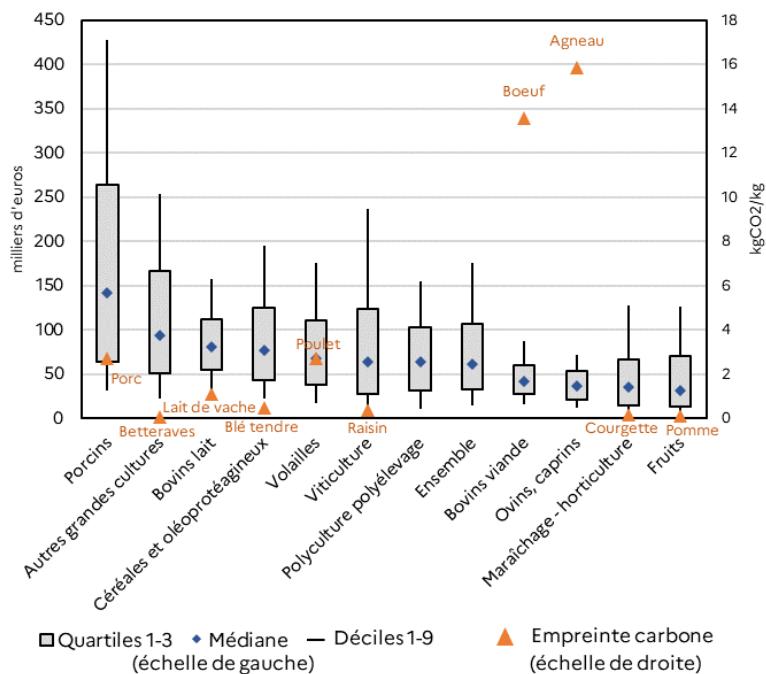
⁶⁴⁵ Lafont A.-L. et Maurel C. (2021) « [Asymétrie d'information entre producteurs et consommateurs et agriculture durable](#) ».

⁶⁴⁶ Agence bio (2024), « [Baromètre des produits biologiques en France 2024](#) ».

⁶⁴⁷ Hartmann C. et al. (2021), « [Measuring consumers' knowledge of the environmental impact of foods](#) ».

⁶⁴⁸ Bastit F. (2024), « [Disparités des revenus agricoles](#) », Trésor-Eco n°350.

GRAPHIQUE 4
Dispersion de l'Excédent Brut d'Exploitation par ETP non salarié
par orientation technicoéconomique en 2022



Sources : Service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (2023) : "[Les résultats économiques des exploitations agricoles en 2022](#)" ; ADEME, données [Agribalyse](#), version v3.1.1 Juillet 2023 ; calculs DG Trésor. L'intensité carbone moyenne de productions conventionnelles nationales représentatives (issue des données de l'ADEME) des orientations technicoéconomiques est présentée en orange.

- **Surcoût de la décarbonation.** La décarbonation implique généralement un surcoût par rapport aux pratiques conventionnelles, qui pourrait peser sur la rentabilité des exploitations, notamment des plus émissives. Les effets que pourraient avoir ces surcoûts sur la compétitivité et la profitabilité des exploitations sont incertains et dépendent de multiples facteurs, dont la capacité à transmettre ces surcoûts sur les prix de vente.
- **Aversion au risque.** L'aversion au risque fait obstacle à l'adoption de certaines pratiques bas-carbone comportant un niveau de risque plus élevé. Le secteur agricole se caractérise par un niveau de risque intrinsèquement élevé, bien qu'atténué par les aides publiques dont bénéficie le secteur. Ce risque est lié principalement à l'incertitude des conditions climatiques et aggravé par la structure de marché rigide à court-terme du secteur agricole (offre et demande inélastiques à court-terme) donnant lieu à une instabilité importante des marchés (e.g. une offre plus abondante qu'anticipée provoque une forte chute des prix)⁶⁴⁹. La transition bas-carbone constitue parfois un facteur de risque supplémentaire pour les agriculteurs : la mise en œuvre de certaines pratiques permettant de décarboner peut s'avérer risquée, car elle accroît la sensibilité de la production aux aléas⁶⁵⁰ ou ne génère des bénéfices privés qu'à plus long-terme⁶⁵¹. L'aversion au risque peut notamment conduire à une utilisation excessive d'engrais, ce qui est défavorable à la décarbonation^{652,653}.
- **Pouvoir d'achat alimentaire.** L'effet global de la décarbonation sur le budget alimentaire des ménages est incertain, et potentiellement négatif sous certaines conditions défavorables (cf.

⁶⁴⁹ Butault J.-P., Le Mouél C. (2004) « [Pourquoi et comment intervenir en agriculture ?](#) ».

⁶⁵⁰ Agreenium, INRA (2013) « [Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement](#) ».

⁶⁵¹ Par exemple, le déploiement de l'agroforesterie est entravé par l'incertitude future des prix du bois, dont la vente permet de couvrir une partie des surcoûts. Cf. Frey et al (2013), « [A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley](#) ».

⁶⁵² Sheriff G. (2005), « [Efficient Waste? Why Farmers Over-Apply Nutrients and the Implications for Policy Design](#) ».

⁶⁵³ Dequiedt et al (2023), « [Is Risk a Limit or an Opportunity to Mitigate Greenhouse Gas Emissions? The Case of fertilization in Agriculture](#) ».

Encadré 4). La mise en place de politiques climatiques visant à décarboner l'alimentation pourrait induire une hausse des coûts alimentaires des ménages si les surcoûts cités précédemment sont transmis aux prix à la consommation. Cela pourrait être particulièrement dommageable pour les ménages se trouvant déjà en situation de précarité alimentaire, soit 16 % des ménages français en 2022⁶⁵⁴. L'effet de la décarbonation sur les dépenses alimentaires dépend toutefois de l'intensité de la réallocation de la consommation alimentaire et pourrait être atténué par l'adoption de régimes alimentaires plus sobres en produits issus de l'élevage au profit des aliments végétaux, et un moindre gaspillage⁶⁵⁵. L'étude des élasticités-prix des consommations alimentaires françaises suggère que les réallocations des produits les plus émissifs vers d'autres produits pourraient être importantes en cas de hausse de prix⁶⁵⁶.

ENCADRÉ 4

Quels effets de la transition écologique sur le budget alimentaire des ménages ?

Plusieurs études ont proposé des estimations de l'effet de la transition écologique sur le budget alimentaire des ménages français. L'effet combiné du changement de la composition de l'assiette et de la hausse des prix des aliments reste incertain : la limitation de la consommation de viande et l'augmentation de la consommation des produits végétaux contribue à réduire le coût de l'alimentation, tandis que les produits durables (dont bio) sont plus chers. Ces études raisonnent à prix constants : l'évolution des prix dépendra de celle des coûts et des marges des différents types de producteurs avec la transition. Elles ne font pas non plus de lien explicite avec les politiques publiques à même de déclencher ces changements de régime alimentaire.

- Une étude pour le Réseau Action Climat (RAC) et la Société Française de Nutrition (SFN) a modélisé l'effet de l'adoption de 12 diètes bas-carbone sur le coût moyen de l'alimentation⁶⁵⁷. Chacune de ces diètes réduit l'empreinte carbone de l'alimentation d'au moins 30 % et satisfait les recommandations nutritionnelles, tout en s'écartant le moins possible des consommations alimentaires observées par souci de réalisme. Ces changements de diète engendrent une réduction du coût moyen de l'alimentation allant de -10 % à -20 % par rapport à la diète observée (à partir des prix moyens extraits du panel d'achats Kantar 2015, alimentation hors domicile non comprise), principalement à cause de la diminution de la consommation de viande, remplacée par des produits végétaux moins chers. Toutefois, cette étude raisonne à prix constants pour l'année 2015 et ne prend en compte ni l'inflation alimentaire récente, ni d'éventuelles hausses de prix des aliments qui seraient causées par la décarbonation. Elle ne différencie pas non plus les effets selon les revenus des ménages.
- I4CE a analysé l'effet de l'adoption du régime alimentaire moyen issu des scénarios prospectifs de transition alimentaire TYFA (IDDR) et Afterres (Solagro) sur les dépenses alimentaires en fonction des revenus des ménages⁶⁵⁸. Celui-ci consiste en (i) une composition de l'assiette moins carnée (20 % de produits animaux) et moins riche en céréales, avec une hausse de la consommation de fruits, légumes et légumineuses ; (ii) une réduction des pertes et gaspillages de 50 % ; (iii) une part des modes de production durables (associés par simplification aux produits issus de l'agriculture biologiques) à

⁶⁵⁴ Crédoc (2023), « [En forte hausse, la précarité alimentaire s'ajoute à d'autres fragilités](#) ».

⁶⁵⁵ I4CE (2021), « [Une alimentation plus durable augmente-t-elle le budget des consommateurs ?](#) ».

⁶⁵⁶ Bonnet et al. (2018), « [An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France](#) ».

⁶⁵⁷ RAC, SFN (2024), « [Comment concilier nutrition et climat ? Pour la prise en compte des enjeux environnementaux dans le Programme National Nutrition Santé](#) ».

⁶⁵⁸ I4CE (2021), « [Une alimentation plus durable augmente-t-elle le budget des consommateurs ?](#) ».

hauteur de 75 % des quantités consommées. L'adoption des deux premiers leviers permet de réduire les dépenses alimentaires de 5 % à 10 % selon le niveau de revenu, mais leurs effets sont plus que compensés par la consommation de produits biologiques qui augmente le budget alimentaire moyen. Au total, les dépenses alimentaires augmentent entre 15 % et 30 % selon le revenu des ménages. Les prix des produits biologiques sont calibrés sur le différentiel de prix actuel avec les produits conventionnels, qui est élevé. L'impact de ce dernier levier sur les prix des produits alimentaires pourrait en théorie être atténué par une baisse des coûts et/ou une réduction des marges de la production biologique à moyen et long-terme, mais ces facteurs sont incertains.

Enfin, la satisfaction des recommandations nutritionnelles, cruciale pour la santé, contribue à augmenter le budget alimentaire par rapport à une simple réduction de l'empreinte environnementale de l'alimentation⁶⁵⁹. Ces deux études s'intéressent à des changements de régime compatibles avec la transition écologique mais aussi avec le respect des recommandations nutritionnelles, alliant ainsi environnement et santé. Ne pas prendre en compte la dimension nutritionnelle pourrait conduire à l'adoption de régimes certes moins polluants et moins coûteux, mais également moins sains. Cet antagonisme potentiel entre transition alimentaire et santé pourrait, en théorie, être limité par le biais d'une meilleure information des consommateurs et d'actions sur l'environnement alimentaire.

- **Inertie des pratiques alimentaires.** L'inertie des préférences des consommateurs en matière d'alimentation pourrait ralentir l'adoption de pratiques alimentaires bas-carbone⁶⁶⁰. Les préférences alimentaires des consommateurs, actuellement peu tournées vers des régimes bas-carbone, sont largement façonnées par l'habitude et les représentations socio-culturelles de l'alimentation, elles-mêmes influencées par de nombreux facteurs comme les caractéristiques socioéconomiques des ménages ou les stratégies publicitaires des transformateurs et distributeurs.

11.2.2 Des instruments visant explicitement la décarbonation ou y contribuant indirectement ont été déployés pour surmonter ces obstacles

De nombreux instruments ont été déployés par la puissance publique dans le domaine de l'agriculture, contribuant directement ou ayant une incidence indirecte sur sa décarbonation.

11.2.2.1 Instruments prix

Au-delà de la Politique Agricole Commune (PAC), de nombreux autres financements publics⁶⁶¹ **abondent le système agricole et alimentaire pour des objectifs climatiques.** D'après le Budget Vert, les financements contribuant à la décarbonation de l'agriculture correspondent principalement aux aides en faveur de la production de biométhane (875 M€ de crédits de paiement en LFI 2024)⁶⁶², à certaines dépenses du budget « Planification écologique » contribuant à la décarbonation de l'agriculture à hauteur de 235 M€ de crédits de paiement⁶⁶³ en LFI 2024 ou

⁶⁵⁹ RAC, SFN (2024), « [Comment concilier nutrition et climat ? Pour la prise en compte des enjeux environnementaux dans le Programme National Nutrition Santé](#) ».

⁶⁶⁰ IDDRI (2023), « [Environnement, inégalités, santé : quelle stratégie pour les politiques alimentaires francaises ?](#) ».

⁶⁶¹ I4CE (2024), "[Les financements publics du système alimentaire français](#)". Il existe certaines différences de l'analyse I4CE avec le Budget Vert dues aux choix de cotation des dépenses. I4CE juge que l'action « Gestion équilibrée et durable des territoires » (environ 530 M€ de crédits de paiement en 2024) a un effet incertain sur la transition, tandis que le budget vert lui attribue une cotation favorable pour l'atténuation climatique. Elle correspond principalement à des cofinancements nationaux d'aides de la PAC (ICHN, MAEC, aides à l'agriculture biologique).

⁶⁶² Action 10 « Soutien à l'injection de biométhane » du programme 345 « Service public de l'énergie » de la mission Écologie, développement et mobilité durables ; Gouvernement (2024), "[Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'Etat – PLF 2025](#)"

⁶⁶³ Le budget « Planification Ecologique » dans l'agriculture correspond à l'action 29 du programme 149 « Compétitivité et durabilité de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt » de la mission « Agriculture, alimentation, forêt et affaires

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

au soutien à l'agriculture biologique avec le crédit d'impôt en faveur de l'agriculture biologique – dépense fiscale de 142 M€⁶⁶⁴. D'autres dépenses favorables à la décarbonation ont été engagées dans le cadre du plan France Relance, avec une enveloppe totale de 1,1 Md€ d'autorisations d'engagement allouée en 2021 à la transition agricole⁶⁶⁵, comme le soutien au développement des protéines végétales et la réalisation de diagnostic carbone, sans évaluation complète à ce stade^{666, 667}. Enfin, 1,8 Md€ sont prévus à horizon 2030 par le plan France 2030 pour l'accompagnement de la transition agricole et agroalimentaire⁶⁶⁸, en misant sur l'innovation.

Les crédits carbone dans le domaine de l'agriculture rémunérant la réduction des émissions et la séquestration de carbone restent aujourd'hui limités en France, mais sont en essor. Des mécanismes de certification de crédits carbone, privés (e.g., Verra, Gold Standard) ou public comme le Label Bas Carbone (LBC) français⁶⁶⁹, permettent aux agriculteurs de valoriser leurs réductions d'émissions et leur séquestration de carbone via des financements d'acteurs privés (principalement des entreprises) réalisant des actions de compensation, ou des financements publics. Les projets agricoles représentent une faible part de ces crédits, que ce soit au niveau mondial ou français. Au niveau mondial, il est estimé en 2022-2023 que seuls 4 % des crédits carbone portaient sur des projets agricoles⁶⁷⁰ tandis qu'en France, seuls 1 % des crédits vendus en 2023 correspondaient à des projets d'agriculture et d'agroforesterie⁶⁷¹. Pour la même année, cette part apparaît plus élevée au sein des projets LBC⁶⁷² : les projets agricoles représentaient environ 30 % des nouveaux projets labellisés et émissions évitées potentielles⁶⁷³, le reste étant principalement des projets forestiers. Entre 2020 et 2022, le prix moyen des crédits LBC était de 30 €/tCO₂éq pour l'ensemble des projets agricoles et forestiers⁶⁷⁴ et de 50 €/tCO₂éq pour les seuls projets agricoles⁶⁷⁵ (avec un revenu estimé à 90€/ha pour l'agriculteur), tandis que la moyenne mondiale des crédits carbone se situe autour de 5 €/tCO₂éq. Enfin, il peut être noté que d'autres formes de paiements pour services écosystémiques (PSE)⁶⁷⁶ et de contractualisation⁶⁷⁷ (e.g. chartes de production durable entre producteurs et industriels, primes filières) se développent en parallèle des crédits carbone.

Ces crédits présentent toutefois des limites, face auxquelles des initiatives publiques ont été mises en œuvre. Bien que les crédits carbone fournissent en théorie une incitation à la

rurales ». Les sous-actions prises en compte ici sont les suivantes : Décarbonation en agriculture (80 M€) ; Diagnostic carbone (20 M€) ; Fonds en faveur de la souveraineté alimentaire et des transitions (25 M€) ; Plan haies (45 M€) ; Plan protéines (65 M€). Elles bénéficient toutes d'une cotation supérieure ou égale à 1 sur l'indicateur d'atténuation climatique du budget vert. Gouvernement (2024), "[Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État – PLF 2025](#)".

⁶⁶⁴ Prévision de la dépense fiscale 210316 pour 2024 sous-jacente au PLF 2025.

⁶⁶⁵ Gouvernement (2021), "[Programme n° 362 - Ecologie](#)"

⁶⁶⁶ France Stratégie (2024), "[Comité d'évaluation du plan France Relance. Rapport final. Volume II – Evaluation des dispositifs.](#)"

⁶⁶⁷ Parmi ces dernières, seul le soutien aux protéines végétales a fait l'objet d'une évaluation à ce stade par France Stratégie en 2024. Toutefois, du fait de l'indisponibilité de certaines données et du recul insuffisant, le rapport ne se prononce pas sur l'atteinte des objectifs de la mesure, à savoir une hausse de 40 % des surfaces semées avec des espèces riches en protéines végétales en 2023 par rapport à 2020, ni sur son rôle causal dans les tendances de production récentes.

⁶⁶⁸ Secrétariat Général pour l'Investissement (2023), "[France 2030 – Rapport d'activité 2023](#)"

⁶⁶⁹ Le LBC permet de labelliser plusieurs types de projet séquestrant ou réduisant les émissions de GES, dans le domaine de la forêt, de l'agriculture mais aussi du bâtiment, des transports et de la mer. À ce stade, six méthodes agricoles ont été approuvées dans le cadre du LBC, telles que « CarbonAgri » qui vise les réductions d'émissions en élevages bovins et grandes cultures, la méthode « Haies » sur la gestion durable des haies ou encore « Ecométhane » qui cible la réduction des émissions de méthane d'origine digestive par l'alimentation des bovins laitiers.

⁶⁷⁰ Ecosystem Marketplace (2024), [State of the Voluntary Carbon Market 2024](#)

⁶⁷¹ INFCC (2024), [État des lieux 2024](#)

⁶⁷² Seuls 2 % des crédits vendus en France en 2023 étaient labellisés LBC. INFCC (2024), [État des lieux 2024](#)

⁶⁷³ INFCC (2024), [État des lieux 2024](#)

⁶⁷⁴ DGEC (2022), « [Etude comparée des standards de compensation existants](#) »

⁶⁷⁵ SGPE (2024), « [Agriculture : synthèse de la mise en œuvre du plan Mai 2024](#) »

⁶⁷⁶ Site internet du Ministère de la transition écologique, [Les paiements pour services environnementaux \(PSE\)](#)

⁶⁷⁷ Greenflex (2022), « [Dispositifs de valorisation des efforts d'atténuation du dérèglement climatique en agriculture : genèse, enjeux et perspectives](#) ». Les montants en jeu ne sont pas connus.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

décarbonation, leur mise en œuvre concrète a été marquée par des limites importantes⁶⁷⁸. Celles-ci portent notamment sur la non-additionalité des projets (rémunérant la préservation de l'existant ou des projets déjà prévus plutôt que des réductions d'émissions supplémentaires), la capacité à stocker durablement du carbone, ou encore le risque d'éco-blanchiment (*greenwashing*) en raison de la décorrélation entre les achats de crédits par les entreprises et la réduction de leurs propres émissions. Plusieurs initiatives internationales et européennes visent toutefois à améliorer la gouvernance des marchés de crédits carbone, à renforcer l'intégrité environnementale de l'offre de crédits, et à mieux encadrer leur valorisation par les entreprises. En particulier, dans l'UE, la directive sur la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises (CSRD) de 2022 encadre le recours à la compensation carbone dans les informations de durabilité des entreprises, limitée à une part résiduelle dans l'atteinte des objectifs de neutralité. Elle prévoit notamment des obligations de transparence sur l'utilisation de crédits carbone au titre de la compensation, en précisant les standards de qualité utilisés, et en explicitant leur rôle dans l'atteinte des objectifs de neutralité carbone de l'entreprise. Le règlement établissant un cadre de certification de l'Union relatif aux absorptions de carbone (*Carbon Removal Certification Framework*, CRCF), en cours d'adoption au niveau européen, contribuera à définir un cadre de qualité de l'offre de projets d'absorption.

11.2.2.2 Réglementations

Des réglementations récentes (EGAlim, loi Climat et Résilience) introduisent des obligations (repas végétariens, produits durables et de qualité dont bio, lutte contre le gaspillage alimentaire etc.) pour la restauration collective. Leur efficacité pour réduire les émissions de GES est limitée par la faible proportion de repas concernés à l'échelle nationale, d'autant que leur application effective reste partielle aujourd'hui. Ces réglementations n'ont pas une visée explicite de décarbonation à l'exception des repas végétariens et des obligations relatives à la lutte contre le gaspillage alimentaire, bien qu'elles puissent y contribuer indirectement. La restauration collective représente une faible proportion de l'ensemble des repas pris à l'échelle de la France (moins de 5 % en 2019⁶⁷⁹), limitant l'impact sur les émissions de GES. Le respect de certaines de ces dispositions n'est par ailleurs pas encore généralisé : en 2023, seuls 12 % des achats des cantines correspondaient à des aliments issus de l'agriculture biologique, tandis que 94 % des cantines scolaires respectaient l'obligation de servir au moins un menu végétarien par semaine⁶⁸⁰. Le coût de ces mesures est limité : selon l'ADEME, les trois mesures issues de la loi EGAlim (20 % de bio, 20 % de repas végétarien, -20 % de gaspillage alimentaire) induiraient une hausse du coût moyen des repas en restauration scolaire de 3 %.

11.2.2.3 Dispositifs informationnels

Apporter de l'information aux consommateurs est un axe important de la politique alimentaire française, pour inciter les consommateurs à se tourner vers des aliments durables et sains⁶⁸¹. Ces dispositifs informationnels visent principalement des objectifs de santé publique et environnementaux autres que climatiques mais contribuent indirectement à la décarbonation. Le quatrième Programme National Nutrition Santé (PNNS 4) formule des recommandations nutritionnelles compatibles avec la décarbonation⁶⁸² (limitation de la consommation de viande rouge, augmentation de la consommation de légumineuses), tandis que le Programme National

⁶⁷⁸ Delacote, Ph. et al. (2024), "[Strong transparency required for carbon credit mechanisms](#)", *Nature sustainability*, 8, 706-713 ; Calel, R. et al. (2024, publication à venir), "[Do Carbon Offsets Offset Carbon ?](#)" *American Economic Journal : Applied Economics*

⁶⁷⁹ I4CE (2023), « [Réduction de la consommation de viande : des politiques publiques bien loin des objectifs de durabilité](#) », sur la base de Gira food service (2020), « [Panorama de la consommation alimentaire hors domicile. Phase 1A: Marché français de la consommation hors domicile](#) »

⁶⁸⁰ Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (2024), [Rapport du gouvernement au parlement. Bilan statistique annuel 2024 de l'application des objectifs d'approvisionnement fixés à la restauration collective](#)

⁶⁸¹ Haut conseil pour le climat (2024), « [Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste](#) »

⁶⁸² Ministère des solidarités et de la santé (2018), [Programme national nutrition santé 2019-2023](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

pour l'Alimentation (PNA)⁶⁸³ fait la promotion d'une alimentation durable en renforçant l'information du consommateur et promouvant l'éducation des jeunes aux enjeux environnementaux de l'alimentation. Plusieurs labels publics existent pour permettre aux consommateurs d'identifier plus aisément l'impact environnemental des produits qui leurs sont proposés, comme le label Bio, mais aucun des principaux labels existants ne donne d'information précise sur le contenu carbone des aliments⁶⁸⁴. L'affichage environnemental, prévu par la loi Climat et Résilience de 2021 et dont le déploiement est prévu pour 2026⁶⁸⁵, consistera en un indicateur environnemental multicritères comportant un critère climatique.

Ces dispositifs semblent avoir eu un effet limité sur la décarbonation des pratiques alimentaires des consommateurs français. Par ailleurs, leur niveau de connaissance concernant l'empreinte carbone des aliments reste parcellaire. Les campagnes de prévention du PNNS et du PNA n'ont pas fait l'objet d'évaluation complète à ce stade, tandis que la consommation de produits labellisés reste limitée : la part du bio dans le panier des Français était de 6 % en 2022⁶⁸⁶. La littérature empirique suggère que les dispositifs informationnels ont une efficacité limitée, si mobilisés seuls, pour verdir les pratiques alimentaires⁶⁸⁷, tandis qu'ils sont davantage susceptibles de modifier les comportements en lien avec les enjeux de santé⁶⁸⁸. Selon le Baromètre des produits biologiques en France de 2023, la motivation principale des consommateurs pour acheter des aliments labellisés bio viendrait des bénéfices perçus en termes de santé (raison citée par 57 % des consommateurs réguliers), devant la préservation de l'environnement et a fortiori du climat (raison citée par 43 % des consommateurs réguliers)⁶⁸⁹. Les dispositifs informationnels ont un rôle à jouer pour accompagner la décarbonation des pratiques alimentaires, mais leur efficacité reste incertaine et probablement limitée à ce stade. Dans certains cas, des dispositifs de *nudge* se sont avérés efficaces pour modifier les comportements alimentaires, par exemple pour réduire la consommation de viande⁶⁹⁰, bien que certains auteurs doutent de leur capacité à engendrer des changements de comportement plus systémiques⁶⁹¹. Les données disponibles sur la perception de l'empreinte carbone des aliments par les consommateurs français suggèrent qu'ils sont globalement capables d'identifier les régimes alimentaires les plus émissifs⁶⁹², mais connaissent mal l'empreinte carbone d'aliments spécifiques⁶⁹³ et les facteurs contribuant à l'empreinte carbone des aliments⁶⁹⁴.

⁶⁸³ Site internet du ministère de l'alimentation et de la souveraineté alimentaire. "[Programme national pour l'alimentation 2019-2023 : territoires en action](#)"

⁶⁸⁴ Centre d'études prospectives (CEP) du Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (2023), "[Dispositifs de décarbonation de l'agriculture : leviers et perspectives - Analyse n°196](#)"

⁶⁸⁵ Site internet de l'ADEME. [Affichage environnemental](#)

⁶⁸⁶ Il faut toutefois noter une forte dynamique de croissance depuis plusieurs années, affaiblie sur la période récente en raison de l'inflation conjoncturelle. Site internet du MASA. [Les chiffres de l'agriculture biologique 2022](#)

⁶⁸⁷ Traill W.B. et al (2013), [The EATWELL project: Recommendations for healthy eating policy interventions across Europe](#)

⁶⁸⁸ Bouamra Z. (2020), "[Viewpoint: Regulating meat consumption to improve health, the environment and animal welfare](#)"

⁶⁸⁹ Agence Bio (2023), "[Baromètre des produits biologiques en France, 2023](#)"

⁶⁹⁰ Kwasny et al (2022), [Towards reduced meat consumption: A systematic literature review of intervention effectiveness, 2001-2019](#)

⁶⁹¹ Chater N, Loewenstein G. (2022), [The i-frame and the s-frame: How focusing on individual-level solutions has led behavioral public policy astray](#)

⁶⁹² Espinosa et al. (2024), [Perceived benefits of plant-based diets](#)

⁶⁹³ Fabre A., Douenne T. (2020), "[French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies](#)"

⁶⁹⁴ IPSOS (2021), "[Perils of perception. Environmental perils](#)". April 2021

ENCADRE 5

Mesures de la PAC qui contribuent directement ou indirectement à la décarbonation

Les Mesures Agro-environnementales et Climatiques (MAEC) et l'écorégime sont les deux principaux outils de la Politique Agricole Commune (PAC) rémunérant explicitement le verdissement et la décarbonation de l'agriculture. Les MAEC sont des subventions conditionnées au maintien de bonnes pratiques ou à des changements de pratiques auxquels souscrivent les agriculteurs pour une durée minimale de cinq ans. L'écorégime est un paiement à l'hectare du premier pilier conditionné à des pratiques plus contraignantes que les mesures de conditionnalité de la PAC. Ces dispositifs ont vocation à couvrir les coûts de déploiement des pratiques environnementales soutenues, améliorant ainsi leur viabilité économique. Au total, les écorégimes bénéficient d'environ 1,6 Md€/an⁶⁹⁵ en France.

Les mesures de conditionnalité de la PAC, de nature réglementaire, que sont les Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE) et les Exigences Réglementaires en Matière de Gestion (ERMG) (e.g., directive Nitrates) portant sur le secteur de l'environnement, de la santé publique, de la santé végétale et du bien-être animal, contribuent aussi aux objectifs de décarbonation.

⁶⁹⁵ Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (2024), "[Plan stratégique national de la PAC 2023-2027](#)"

GRAPHIQUE 5

Instruments déployés pour surmonter les défaillances de marché et autres freins faisant obstacle à la décarbonation

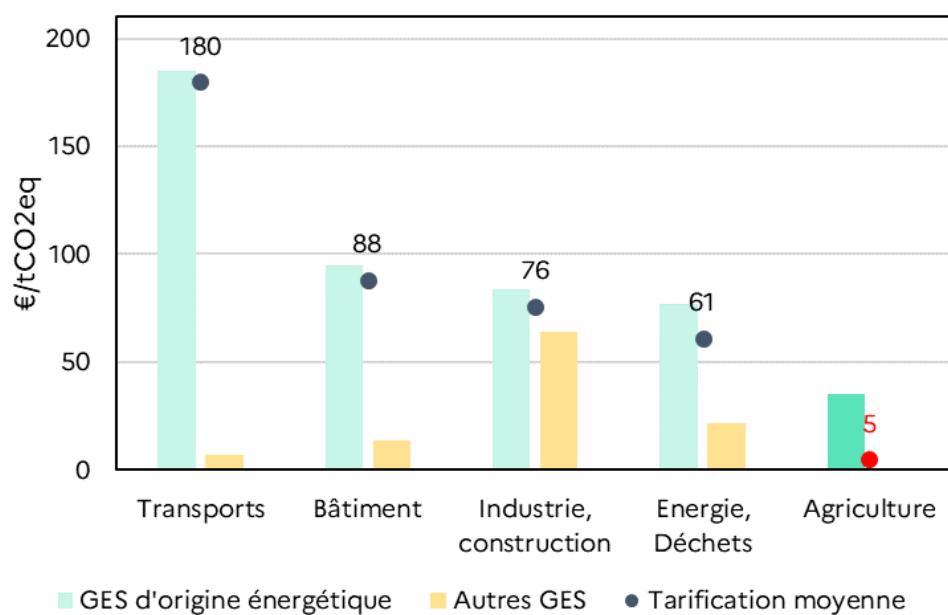
Plusieurs défaillances de marché ainsi que d'autres freins font obstacle à la décarbonation...	... Face auxquelles les pouvoirs publics ont mis en place des instruments pour les surmonter	Défaillance de marché	
	Instruments explicites de décarbonation	Autres instruments	Autre frein
 Sous-tarification des externalités climatiques des émissions des GES (positives négatives) des exploitations agricoles. Celle-ci peut être traitée par une tarification effective, mais aussi par le biais d'autres instruments (subventions, réglementations)	Tarification Tarification effective du carbone uniquement pour les consommations énergétiques et à taux réduit		
 Risques de fuites de carbone, dans le cas d'une tarification unilatérale	Subventions Crédits carbone (LBC) et autres subventions à la décarbonation (MAECs, aides nationales...)	Autres aides à la transition écologique avec cobénéfices climat : écorégimes de la PAC, prêts garantis (INAF) pour projets agricoles écologiques	
 Verrouillage organisationnel : les produits et méthodes de production bas-carbone peinent à se déployer dans un système agroalimentaire façonné de sorte à maximiser la compétitivité des cultures et pratiques conventionnelles	Réglementations Réglementations sur la restauration collective EGALIM2/loi climat résilience (repas végétariens)	Conditionalités de la PAC avec cobénéfices climat : BCAE, directive Nitrates	
 Information asymétrique et incomplète sur les attributs climatiques et sanitaires des aliments	Etant donné le faible niveau de tarification effective du carbone dans l'agriculture, pas d'instruments explicites déployés à ce stade	Règlement sur la déforestation importée (contrainte sur les émissions importées)	
 Concurrence imparfaite : dans certaines filières, le pouvoir de marché des transformateurs industriels et des distributeurs exacerbé les difficultés économiques des producteurs en réduisant leurs revenus, atténuant ainsi leur capacité à absorber les surcoûts de la décarbonation	Financement d'appels à projet pour structurer les filières de légumineuses (France Relance, Plan protéines du PLF); débouchés garantis dans la restauration publique avec réglementations EGALIM2/loi climat résilience		
 Difficultés économiques de certains agriculteurs, qui limite leur capacité à absorber le surcoût de la décarbonation par rapport aux pratiques conventionnelles	L'affichage environnemental en cours de déploiement contiendra un critère climat	Recommandations nutritionnelles et campagnes d'information; labels environnementaux (bio, HVE)	
 Inertie des pratiques alimentaires émettrices de GES		EGALIM 1-2-3	
 Pouvoir d'achat alimentaire des ménages modestes fragilisé en cas de surcoût induit par la décarbonation		Mesures de soutien au revenu agricole de la Politique Agricole Commune (PAC)	
	Réglementations sur la restauration collective EGALIM2/loi climat résilience (repas végétariens)	Autres réglementations sur la restauration collective EGALIM2/ loi climat résilience (critères de durabilité); recommandations nutritionnelles et campagnes d'information	
		Aide alimentaire (tickets alimentaires); prestations sociales transversales	

11.2.3 La tarification du carbone est actuellement peu mobilisée dans le secteur agricole. Elle présente des opportunités pour la décarbonation, mais également des risques qui doivent être maîtrisés

11.2.3.1 État des lieux, en France et à l'étranger

En France, les externalités climatiques de l'agriculture sont peu tarifées aujourd'hui, principalement à cause d'une absence totale de tarification des émissions non-énergétiques des exploitations agricoles (cf. Graphique 6). Au niveau des exploitations, seules les consommations énergétiques, qui ne représentaient que 15 % du total de leurs émissions en 2023⁶⁹⁶ (hors puits de carbone agricole), sont soumises à une tarification effective positive⁶⁹⁷ par le biais de l'accise sur les énergies notamment sur le gazole non routier (GNR), bien qu'à taux réduit⁶⁹⁸. La tarification effective de ces émissions est de 34 €/tCO₂éq en 2023, loin derrière la tarification effective du CO₂ d'origine énergétique dans les autres secteurs (à titre de comparaison, elle était de 180 €/tCO₂ dans les transports en 2023)⁶⁹⁹. Les émissions biologiques ne font l'objet d'aucune tarification effective. Au total, les émissions des exploitations agricoles sont ainsi tarifées au niveau de 5 €/tCO₂éq, contre 91 €/tCO₂éq en moyenne dans l'économie française.

GRAPHIQUE 6
Tarification effective des gaz à effet de serre (GES) en 2024, par secteur économique



Source : CGDD (2024), [Une tarification des émissions de gaz à effet de serre inégale selon les secteurs](#), Théma Essentiel n°34

Notes : L'ensemble des émissions territoriales françaises est pris en compte. Les secteurs correspondent à la nomenclature SECTEN du CITEPA. Le secteur « Agriculture » correspond aux activités de production agricole, les émissions amont et aval du système alimentaire n'y sont pas comprises (e.g., la production d'engrais de synthèse est comprise dans le secteur « Industrie, Construction »).

⁶⁹⁶ CGDD (2024), "La tarification effective des gaz à effet de serre en 2023"

⁶⁹⁷ Tarification effective du carbone non nette des subventions.

⁶⁹⁸ En 2024, le GNR agricole avait un taux réduit d'accise fixé à 3,86 c€/L, contre 59,40 c€/L pour le gazole standard, induisant une dépense fiscale chiffrée dans le budget vert à 1,1 Md€ dans la prévision 2024 sous-jacente au PLF 2025.

⁶⁹⁹ CGDD (2024), op. cit.

ENCADRÉ 6

Tarification des émissions agricoles à l'étranger

La tarification des émissions directes du secteur agricole commence à faire l'objet d'initiatives politiques en Europe, tandis que d'autres pays y ont renoncé après l'avoir proposée. Plusieurs pays européens discutent de mesures incitatives visant à réduire les émissions de GES agricoles. Le Danemark a voté en novembre 2024 un paquet de politiques pour accélérer la transition écologique du secteur agricole (« accord tripartite vert »)⁷⁰⁰. Celui-ci consiste en plusieurs mesures incitatives (taxes et subventions) pour réduire les dégradations environnementales causées par l'agriculture. Il prévoit notamment une tarification des émissions de GES de l'élevage de ruminant et porcin liées à la fermentation entérique ou à la gestion des effluents à partir de 2030. La taxe serait initialement fixée à 40 €/tCO₂éq (300 DKK) en 2030 et augmenterait à 100 €/tCO₂éq (750 DKK) en 2035 avec une déduction fiscale de 60 % sur la base du facteur d'émission moyen⁷⁰¹. L'ensemble des recettes de la taxe serait dans un premier temps reversé aux éleveurs pour financer des investissements de décarbonation. L'Allemagne envisage une TVA renforcée sur la viande pour des considérations climatiques et de bien-être animal⁷⁰². Elle a également initié en 2024 la suppression de l'avantage fiscal sur le diesel agricole sur trois ans, représentant une niche fiscale brune de 430 M€ en 2024, sans compensation particulière prévue à ce stade⁷⁰³. La Nouvelle-Zélande avait lancé en 2020 un projet de tarification des émissions de GES agricoles, abandonné en 2024 suite à des contestations du secteur agricole et à l'arrivée d'un nouveau gouvernement⁷⁰⁴. La tarification des émissions agricoles paraît loin d'être consensuelle au sein des pays membres de l'Union européenne, dont nombreux privilégièrent des mesures incitatives décidées par les filières et appuyées par les politiques agricoles européennes (cf. Encadré 5).

11.2.3.2 Élasticité-prix des consommations émissives du système alimentaire

L'élasticité-prix des consommations alimentaires émissives et de la consommation des intrants émissifs à long-terme, qui traduit la sensibilité de ces consommations à une augmentation de leur prix, apparaît relativement élevée (cf. Graphique 7). L'élasticité-prix de la consommation d'engrais⁷⁰⁵ apparaît modérée à court terme (jusqu'à -0,4)⁷⁰⁶ mais pourrait être bien plus élevée à long terme et à un niveau agrégé (-0,9)⁷⁰⁷, du fait de réallocations des productions et des gains de part de marché des producteurs les plus économies en engrais. La consommation des produits alimentaires les plus émissifs apparaît élastique au prix (élasticité-prix propre proche de

⁷⁰⁰ New Zealand Foreign Affairs and Trade (2024), « [A Green Denmark: First country to tax agricultural emissions](#) ».

⁷⁰¹ Cette taxe mobilisera des facteurs d'émission différenciés par mode de production (par exemple, élevage extensif vs intensif), avec l'objectif de gagner en précision au fur et à mesure pour bien distinguer les émissions des différents types d'élevage (e.g., technologies utilisées par les éleveurs). Dans un premier temps, les éleveurs bénéficieront d'un paiement égal à 60% du facteur d'émissions moyen retenu pour un type d'élevage donné (e.g., porcin). Étant donné que pour un même type d'élevage, plusieurs niveaux de taxe seront mis en œuvre en fonction du mode de production, certains éleveurs pourraient donc être subventionnés (en net) dans la première période de la mesure.

⁷⁰² EY (2024), « [Germany's early-stage legislative process commences for tax on meat products](#) ».

⁷⁰³ DW (2024), « [German Bundestag approves controversial diesel subsidy cuts](#) ».

⁷⁰⁴ [Site internet du gouvernement néo-zélandais](#) (2024)

⁷⁰⁵ La loi Climat et Résilience prévoit la mise en place d'une redevance sur l'usage des engrais azotés minéraux en cas de manquement - deux années de suite - des objectifs de réduction des émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote associées à ces produits.

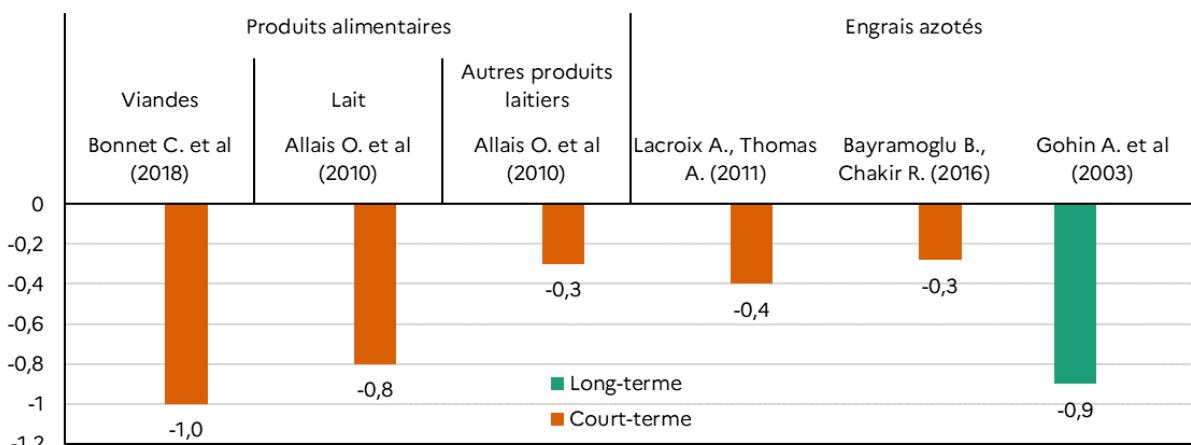
⁷⁰⁶ Lacroix A., Thomas A. (2011), « [Estimating the Environmental Impact of Land and Production Decisions with Multivariate Selection Rules and Panel Data](#) ».

⁷⁰⁷ Gohin A. et al (2003), « [Impacts économiques d'une réduction des utilisations agricoles des engrais minéraux en France : une analyse en équilibre général](#) ».

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

l'unité)^{708,709,710}, mais ne se reporte pas spontanément vers les produits les moins émissifs en absence de tarification de l'ensemble des émissions de GES⁷¹¹. Par ailleurs, en l'absence d'une hausse de prix qui s'appliquerait à l'ensemble des produits alimentaires y compris importés, les consommateurs pourraient se reporter vers des produits émissifs étrangers, ce qui annulerait les bénéfices environnementaux d'un signal-prix renforcé tout en pénalisant les producteurs domestiques.

GRAPHIQUE 7
Elasticité-prix propre de la consommation des produits alimentaires d'origine animale et de la consommation d'engrais azotés en France



Source : DG Trésor

Notes : Dans le cas des produits alimentaires, l'élasticité de court-terme correspond à la variation de la consommation d'aliments par les ménages suite à une hausse de leur prix, sans prendre en compte des changements de pratiques alimentaires issus d'une exposition sur la durée à des prix plus élevés. Dans le cas des engrais azotés, l'élasticité de court-terme correspond à la variation de la consommation d'engrais suite à une hausse du prix des engrais à facteurs de production donnés (e.g., allocation des cultures, équipements agricoles). L'élasticité de long-terme traduit la variation de la consommation après ajustement de l'ensemble des facteurs de production (e.g., adoption de cultures nécessitant moins d'engrais, acquisition d'équipements permettant d'optimiser l'apport d'azote).

En conséquence, le potentiel de réduction des émissions domestiques lié à la mise en œuvre d'une taxe carbone de 100 €/tCO₂éq au niveau des consommateurs sur l'ensemble des produits alimentaires (et sans recyclage des recettes) pourrait atteindre jusqu'à 11%, par rapport aux émissions engendrées par la consommation alimentaire en 2010. Plusieurs analyses ex ante ont été réalisées pour la France à partir d'une estimation des élasticités-prix propres et croisées des différentes consommations alimentaires. En exploitant des données de consommation des ménages de Kantar WorldPanel 2010, Caillavet et al. (2019)⁷¹² simulent une taxe carbone à 100 €/tCO₂éq sur l'ensemble des produits alimentaires conduisant à une réduction d'émissions de 11%. En mobilisant les mêmes données⁷¹³, Bonnet et al. (2018)⁷¹⁴ estiment qu'une taxe à 100 €/tCO₂éq appliquée cette fois-ci uniquement aux consommations de viande et de poissons –

⁷⁰⁸ Femenia F. (2019), "[A meta-analysis of the price and income elasticities of food demand](#)"

⁷⁰⁹ Bonnet et al. (2018), "[An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France](#)"

⁷¹⁰ Allais O., Bertail P. et Nichèle V. (2010), "[The Effects of a Fat Tax on French Households' Purchases : A Nutritional Approach](#)"

⁷¹¹ Bonnet et al. (2018), "[An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France](#)"

⁷¹² Caillavet F. et al (2019), "[Assessing the distributional effects of carbon taxes on food: Inequalities and nutritional insights in France](#)"

⁷¹³ Ces deux simulations ne sont pas directement comparables car elles diffèrent sur le champ d'application de la taxe (viande et poissons pour Bonnet et al., ou ensemble des produits alimentaires pour Caillavet et al.), les valeurs des élasticités estimées (à partir de spécifications et d'un niveau d'agrégation des données différents), la stratégie de modélisation et le niveau d'agrégation des produits.

⁷¹⁴ Bonnet et al. (2018), "[An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France](#)"

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

qui représentent un peu moins de la moitié des émissions de la consommation alimentaire⁷¹⁵- réduirait les émissions de l'alimentation de 3 %. Au-delà des différences du champ d'application de la taxe, les divergences entre ces deux études viennent des valeurs des élasticités estimées (à partir de spécifications et d'un niveau d'agrégation des données différents), de la stratégie de modélisation et du niveau d'agrégation des produits. Bonnet al (2018) estiment qu'une telle taxe représenterait une hausse du prix du bœuf pouvant aller jusqu'à 20 %. En supposant un apport calorique total inchangé, elle induirait une réduction de la part du bœuf dans les consommations alimentaires des ménages de 10 %. La part de marché des produits végétaux, initialement à 45 %, augmenterait seulement de 3 % car la consommation se reporterait en partie vers d'autres viandes et poissons. Une limite importante de ces analyses vient de leur caractère statique : elles modélisent uniquement les choix de consommation des ménages sans prendre en compte les dynamiques de l'offre qui évoluerait aussi.

11.2.3.3 *Une tarification des émissions de GES agricoles induirait des risques pour les producteurs et les consommateurs, notamment de fuites de carbone*

Une tarification des émissions de GES agricoles directes induirait un risque de fuites de carbone via le canal de la compétitivité⁷¹⁶ dans le cas d'une initiative domestique ou communautaire unilatérale, en l'absence de mesures d'ajustement. Une harmonisation des politiques climatiques au niveau mondial serait optimale car elle limiterait les fuites de carbone et avantagerait les producteurs les moins émissifs, contribuant ainsi à la décarbonation⁷¹⁷. Cependant, en l'absence d'évolution mondiale, le risque d'un déplacement de la production et des émissions de GES à l'étranger (via des pertes de parts de marchés sur les marchés intérieurs et tiers⁷¹⁸) – ou « fuites de carbone » – ne peut être écarté dans le cas d'une initiative unilatérale. L'ampleur du risque de fuites de carbone dépend de plusieurs facteurs, dont l'exposition au commerce, le type de politique climatique retenue et le différentiel d'intensité en émissions de la France et de l'UE par rapport au reste du monde (cf. Chapitre 3).

Deux principales méthodes ex ante peuvent être mobilisées pour évaluer le risque de fuites de carbone. Les modèles de commerce international sont utiles pour analyser les effets des politiques climatiques sur les échanges commerciaux⁷¹⁹. Ils simulent généralement l'effet d'une taxe carbone, pouvant être extrapolé à celui de réglementations climatiques (e.g., normes sur l'alimentation animale). La Commission européenne utilise un indicateur dit « EITE », ou intensité en émission et ouverture commerciale, pour analyser les secteurs industriels à risque de fuites de carbone dans le cadre de l'ETS historique (énergie et industrie), décliné ici de façon illustrative pour l'agriculture française en s'inspirant de l'analyse de Fournier Gabela J. G. et Freund F. (2023)⁷²⁰. Il s'agit du produit de l'intensité en émissions⁷²¹ de la valeur ajoutée domestique et de l'exposition au commerce⁷²² avec des pays hors UE ou France, deux paramètres importants mais non exhaustifs du risque de fuite de carbone. La version « standard » de l'EITE suppose que l'ensemble des émissions agricoles directes domestiques soient tarifées tandis que celles des produits étrangers ne le seraient pas, pouvant ainsi être assimilée à un ETS sur les produits agricoles bruts domestiques. Un autre scénario de tarification est envisagé, consistant en un ETS

⁷¹⁵ Haut conseil pour le climat (2024), "[Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste](#)"

⁷¹⁶ Il existe d'autres canaux possibles de fuites de carbone pouvant être positives ou négatives, cf. Chapitre 8.

⁷¹⁷ WTO (2021), [The carbon content of international trade](#)

⁷¹⁸ Ces fuites de carbone interviennent via le canal dit « de la compétitivité ». L'augmentation de la contrainte climatique dans un pays ou région du monde fait perdre en compétitivité-prix aux producteurs concernés relativement aux autres. Cela peut conduire à une perte de parts de marché sur les marchés intérieur et tiers, au profit de producteurs étrangers bénéficiant de contraintes climatiques moins fortes. D'autres canaux de fuites de carbone positives et négatives existent, cf. Chapitre 8.

⁷¹⁹ [Matthews A. \(2023\), Trade policy approaches to avoid carbon leakage in the agri-food sector](#)

⁷²⁰ Fournier Gabela J. G. et Freund F. (2023), [Potential carbon leakage risk: a cross-sector cross-country assessment in the OECD area](#)

⁷²¹ Seules les émissions régulées par la mesure climatique envisagée sont prises en compte dans l'indicateur.

⁷²² Somme des importations et des exportations, divisée par la somme de la production domestique et des importations.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

sur l'industrie agroalimentaire domestique au titre de ses émissions agricoles directes amont domestiques et étrangères (équivalant à un MACF sur les produits agricoles bruts importés), en prenant uniquement en compte ces émissions dans le calcul de l'indicateur (cf. Graphique 9 pour plus de détails). L'EITE ne prend pas en compte la sensibilité au prix des échanges commerciaux et l'intensité en émissions de la production étrangère, pourtant importantes pour apprécier le risque de fuites de carbone⁷²³, invitant à la prudence.

Les évaluations ex ante disponibles suggèrent que le risque de fuites de carbone est faible pour les grandes cultures, tandis qu'il est élevé dans le cas de certains produits issus de l'élevage comme la viande bovine. Pour les cultures, la plupart des modèles de commerce international n'identifient pas de risque de fuite de carbone élevé pour les cultures européennes. L'EITE montre que la plupart des productions végétales françaises ne cumulent pas une forte exposition au commerce hors-UE et une forte intensité en émissions, suggérant également un risque de fuites de carbone limité. Pour les produits issus de l'élevage, selon les modèles de commerce international, une taxe carbone sur les producteurs agricoles au niveau européen sans mesure d'accompagnement serait associée à un taux de fuite de carbone⁷²⁴ de 20-60 % selon le niveau de la taxe (entre 50-230 €/tCO₂éq) et lorsque les producteurs européens adoptent des technologies de décarbonation (e.g., valorisation des effluents d'élevage à l'aide de méthanisateurs⁷²⁵), et davantage quand ce n'est pas le cas⁷²⁶. Elles seraient notamment dues au déplacement de la production de viande bovine vers l'étranger, principalement en remplacement des exportations européennes mais aussi pour sa consommation dans l'UE. Des réglementations climatiques auraient *a priori* des effets similaires. L'EITE suggère aussi un risque pour certaines productions animales françaises émissives, comme la viande bovine dotée d'une faible exposition au commerce hors-UE (5 %) mais d'une intensité en émissions élevée de (35 kgCO₂éq/€VA).

Le point d'application d'une tarification des émissions agricoles via un ETS (producteurs, transformateurs ou distributeurs) aurait une forte incidence sur les fuites de carbone (cf. Graphique 9). La Commission envisage que les émissions agricoles soient tarifées à l'aval du système agroalimentaire au titre de ses émissions amont liées à la production agricole⁷²⁷. Appliquer la tarification au niveau de la consommation par le biais des distributeurs minimiserait le risque de fuites de carbone par le canal de la compétitivité et conduirait à une augmentation des exportations domestiques⁷²⁸.

Dans le cas d'une tarification s'appliquant à la production plutôt qu'à la consommation, il serait indispensable de mettre en œuvre des mesures d'ajustement pour atténuer le risque de fuites de carbone, à défaut d'une coordination internationale. Plusieurs options similaires à celles déployées dans le cadre de l'ETS sur l'énergie et l'industrie pourraient être envisagées pour atténuer les risques de fuite de carbone, comme initialement la distribution de quotas gratuits puis la mise en place du Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF). Le recyclage des recettes de la tarification à destination des assujettis (par ex. pour accélérer leur décarbonation) pourrait également limiter les fuites de carbone. Ces options devraient être

⁷²³ Fowlie et al (2020), « [Mitigating emissions leakage in incomplete carbon markets](#) ».

⁷²⁴ Ratio des émissions supplémentaires engendrées à l'étranger par rapport aux émissions domestiques réduites. Pour 100 émissions domestiques évitées, les émissions étrangères augmenteraient de 20 à 60.

⁷²⁵ Henderson B. et Verma M. (2021) intègrent une courbe de coût d'abattement agricole dans le modèle d'équilibre général MAGNET, puis simulent une taxe carbone sur la production agricole de 100 €/tCO₂éq dans les pays d'Europe du nord avec ou sans possibilité d'adopter ces leviers techniques d'abattement. Dans le premier cas, les fuites de carbone sont estimées à environ 60 %, contre 110 % dans le second.

⁷²⁶ [Matthews A. \(2023\), op.cit.](#)

⁷²⁷ Trinomics (2023), " [Pricing agricultural emissions and rewarding climate action in the agri-food value chain](#)"

⁷²⁸ Une taxe carbone sur la consommation alimentaire dans l'UE de 50 \$/tCO₂éq pourrait engendrer une hausse des émissions à l'exportation de l'ordre de 40 % des réductions d'émissions domestiques, d'après une modélisation conduite avec le modèle European Forest and Agricultural Sector Optimization, cf. Zech et al (2018), [Carbon leakage and limited efficiency of greenhouse gas taxes on food products](#). Le [JRC](#) (2024) trouve des effets qualitativement similaires dans le cas d'un renforcement de la TVA sur la viande, qui induirait une hausse des exportations et une réduction modeste des émissions européennes (2-3%).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

évaluées de façon approfondie afin d'assurer leur compatibilité avec les règles du commerce international.

La tarification des émissions de GES agricoles induirait d'autres risques, nécessitant des mesures complémentaires. Premièrement, elle poserait des difficultés de mise en œuvre pratique⁷²⁹. Il n'existe pas de cadre européen harmonisé de pratiques de suivi, rapportage et vérification (dit MRV) des émissions agricoles, difficiles à mesurer. Par ailleurs, une telle mesure susciterait potentiellement des coûts de coordination importants ainsi qu'une charge administrative pour les producteurs. Faire peser la tarification sur les maillons aval du système alimentaire (i.e. industriels, distributeurs), au titre de leurs émissions agricoles indirectes, pourrait atténuer ces difficultés en réduisant le nombre d'assujettis (ces maillons étant davantage concentrés), mais ne résoudrait pas les difficultés de MRV. Ensuite, une tarification des émissions agricoles pèserait spontanément davantage sur les ménages modestes, dans la mesure où la consommation alimentaire représente une plus grande proportion du revenu disponible des ménages modestes (cf. Graphique 8 pour l'exemple des dépenses de consommation de viande), tandis que les émissions liées à l'alimentation semblent peu varier en fonction des revenus des ménages⁷³⁰. S'appuyant sur des données de consommations fines des différentes catégories socioéconomiques de ménages, Caillavet et al. (2019), estiment qu'une taxe carbone uniforme de 140 €/tCO₂éq sur l'ensemble des produits alimentaires serait en effet régressive, en augmentant de façon plus importante la part du budget dédiée à l'alimentation en proportion des revenus pour les ménages les plus modestes (réallocations entre produits comprises). En effet, celle-ci augmente de 1,7 point de pourcentage pour les ménages du 1^{er} décile de revenu et de 0,8 point de pourcentage pour les ménages du dernier décile⁷³¹. Elle améliorerait les apports nutritionnels de l'ensemble des ménages - sans pourtant que des contraintes nutritionnelles soient associées à la modélisation -, mais surtout ceux des plus aisés dont la propension à se tourner vers des produits végétaux est plus élevée⁷³². Des mesures compensatoires, telles qu'un recyclage des recettes de la tarification sous la forme de versements⁷³³, pourraient limiter l'effet régressif.

⁷²⁹ Trinomics (2023), op. cit.

⁷³⁰ Pour les émissions, cf. CITEPA (2023), "[Enquête empreinte carbone auprès d'un échantillon représentatif de la population française](#)"; pour la consommation de viande, cf. ANSES (2017), "[INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition](#)"

⁷³¹ Caillavet F., Fadhuile A. (2020), "[Inégalités et politiques publiques pour une alimentation durable](#)"

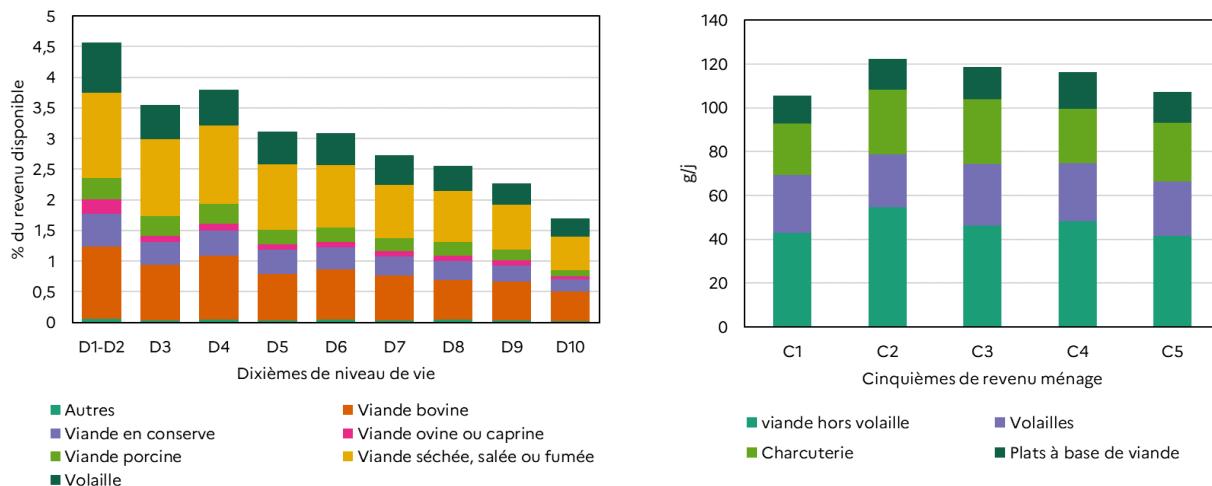
⁷³² Caillavet F. et al (2019), "[Assessing the distributional effects of carbon taxes on food: Inequalities and nutritional insights in France](#)"

⁷³³ Klenert D. (2023), "[Meat taxes in Europe can be designed to avoid overburdening low-income consumers](#)"

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

GRAPHIQUE 8

Dépenses de consommation de viande des ménages en proportion de leur revenu disponible en 2017 (gauche) et consommation journalière individuelle moyenne de viande des adultes en 2014-2015 par cinquième de revenu (droite)



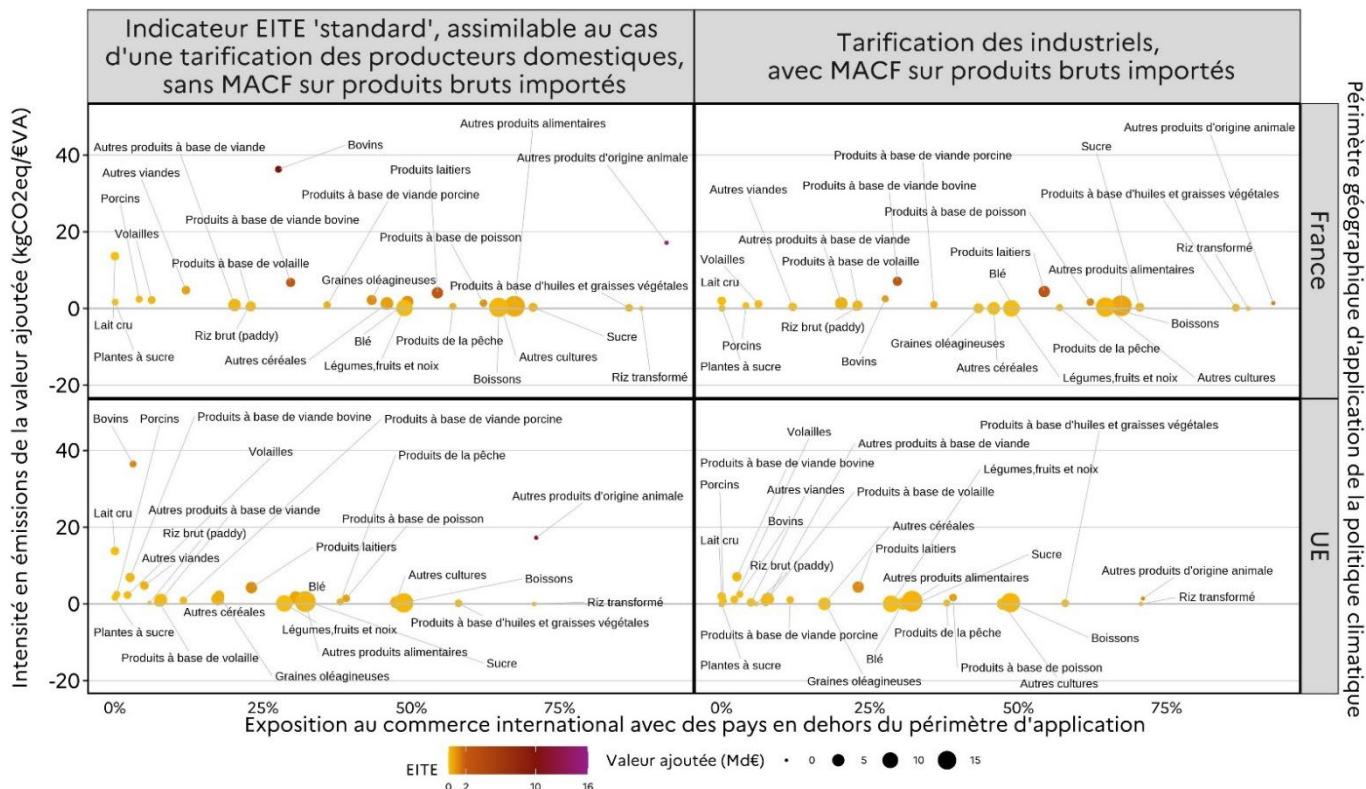
Source : Insee (2017), enquête budget de familles ; ANSES (2017), "[INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition](#)", Calculs DG Trésor.

Notes de lecture :

- Graphique de gauche : en 2017, les ménages des deux premiers dixièmes de niveau de vie dépensaient environ 4,5 % de leur revenu disponible pour leur consommation de viande.
- Graphique de droite : les ménages du premier cinquième de revenu consomment environ 105 grammes de viande par jour, dont environ 40 g de viandes hors volaille.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

GRAPHIQUE 9



Sources : [Exiobase v3.8.2](#), calculs DG Trésor

Notes: l'indicateur « EITE » correspond au ratio de l'exposition au commerce international (en abscisse) et de l'intensité en émissions (en ordonnée). Plus sa couleur est foncée, plus la valeur de l'indicateur est importante. Le score d'exposition au commerce international (abscisses) correspond au ratio de la somme des exportations et des importations vis-à-vis de régions non concernées par d'éventuelles politiques climatiques plus contraignantes dans l'agriculture (tous pays hors France dans la première colonne, pays hors-UE dans la deuxième colonne), par la somme de la production domestique et des importations (vis-à-vis des mêmes pays). L'intensité en émissions (ordonnées) prend en compte l'ensemble des émissions soumises à la politique au niveau domestique (France ou UE selon les scénarios). Les données d'Exiobase pour 2022 sont utilisées ici.

Scénarios : En colonnes : Dans le scénario de tarification des producteurs domestiques (1^{ère} colonne), les émissions directes des producteurs agricoles et les émissions indirectes liées à la consommation d'intrants agricoles domestiques sont tarifées. Dans le scénario de tarification des industriels avec MACF sur les produits bruts importés (2^e colonne), toutes les émissions associées à la consommation domestique de produits agricoles bruts y compris les émissions étrangères) sont tarifées, mais les émissions agricoles directes de production ne le sont pas. En lignes : la tarification est renforcée uniquement en France dans la 1^{ère} ligne, dans toute l'UE dans la 2^e ligne.

Notes de lecture :

Dans le scénario de tarification des producteurs domestiques sans MACF en France (colonne de gauche, première ligne), la viande bovine brute (« Bovins ») française est tarifée à hauteur de ses émissions directes et des émissions agricoles contenues dans ses consommations intermédiaires de produits agricoles français, tandis que la viande bovine brute étrangère importée en France n'est pas tarifée. La viande bovine transformée (« Produits à base de viande bovine ») est tarifée à hauteur des émissions agricoles engendrées par ses consommations intermédiaires agricoles francaises, notamment la viande bovine brute. Si elle est produite à partir de viande bovine brute étrangère, elle ne subit aucune tarification.

Dans le scénario de tarification des industriels domestiques avec MACF en France (colonne de droite, première ligne), l'intensité en émissions inclut uniquement les émissions indirectes liées à la production de produits agricoles bruts provenant de France ou d'ailleurs, pas les émissions directes. Ainsi, la viande bovine brute (« Bovins ») française n'est pas directement tarifée pour les émissions qu'elle engendre (comme le méthane), seules ses consommations intermédiaires de produits agricoles bruts le sont. La viande bovine transformée (« Produits à base de viande bovine ») produite en France est tarifée à hauteur des émissions agricoles directes engendrées par l'ensemble de ses consommations intermédiaires agricoles y compris lorsqu'elles sont importées, notamment la viande bovine brute. Par exemple, si un industriel français s'approvisionne en viande bovine brute en France et au Brésil, les émissions de méthane associées aux bovins français et brésiliens sont prises en compte dans l'indicateur.

Interprétation: Dans le scénario de tarification des producteurs domestiques sans MACF, toutes les productions agricoles (i.e., produits bruts et transformés) sont à risque de fuite de carbone. Les principales productions à risque sont la viande bovine et les produits transformés à base de viande bovine, les produits laitiers et d'autres produits d'origine animale. Dans le scénario de tarification des industriels avec MACF sur produits bruts importés, seuls les produits transformés à base de produits bruts émissifs (domestiques ou importés) sont à risque de fuite de carbone. Les principales productions à risque sont les produits transformés à base de viande bovine et les produits laitiers. Peu importe le scénario de tarification (en colonne), mettre en œuvre la politique au niveau européen réduit l'exposition au commerce avec des pays non soumis à la même politique.

12 Les enjeux économiques de l'adaptation au changement climatique

12.1 Les grands principes économiques de l'adaptation au changement climatique

Le **changement climatique** est amené à avoir des **conséquences physiques, sanitaires et économiques importantes**. L'adaptation au changement climatique désigne une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses **conséquences**. L'adaptation a ainsi le potentiel de diminuer les effets préjudiciables (i.e. de limiter les dommages associés au changement climatique) mais aussi, quoique plus rarement, d'en exploiter les effets bénéfiques.

À la différence de l'atténuation, l'adaptation au changement climatique est susceptible de produire des **bénéfices privés**, ce qui peut inciter à une **adaptation « spontanée »**. En effet, si le bénéfice des actions d'atténuation – visant à réduire les émissions de GES – est avant tout collectif (atténuer le changement climatique pour l'ensemble de la planète), les bénéfices d'actions d'adaptation sont susceptibles de revêtir un caractère individuel. Des travaux de rénovation visant à renforcer la résilience d'un bâtiment en cas de vagues de chaleur bénéficient ainsi directement à la santé et au confort de ses occupants.

Certaines défaillances de marché et autres barrières conduisent à une action privée d'adaptation insuffisante ou contreproductive, justifiant une intervention publique pour déclencher certaines actions, éviter la « mal-adaptation » et minimiser les coûts de l'adaptation et des dommages résiduels⁷³⁴ :

- Certains services d'adaptation possèdent un **caractère de biens publics**, au sens où ils sont non-rivaux et non-exclusifs (par exemple certaines protections contre les inondations) ;
- En raison d'**externalités positives et négatives**, certaines actions d'adaptation peuvent être rentables du point de vue de la collectivité mais pas du point de vue privé (par exemple la désimperméabilisation des sols pour réduire le risque de ruissellement). Réciproquement, les externalités négatives peuvent conduire à renforcer la vulnérabilité aux aléas climatiques au lieu de la réduire (mal-adaptation), certains investissements étant alors rentables d'un point de vue privé, mais pas pour la collectivité (recours à une climatisation qui émet des GES par exemple) ;
- D'autres défaillances de marché affectent les décisions d'adaptation, telles que l'**asymétrie d'information** (e.g. sur le profil de risque d'un bien immobilier lors d'une transaction), la **dépendance au sentier** (e.g. dans le choix entre protection et relocalisation), ou encore des **défaillances de coordination** entre acteurs exposés à un même aléa (e.g. région confrontée à une aggravation des sécheresses susceptible d'affecter les secteurs industriel et agricole ainsi que les ménages, pouvant mener à des conflits d'usage en l'absence de coordination) ;
- L'adaptation souffre également de **barrières informationnelles et comportementales** (préférence pour le présent, biais de perception du risque) susceptibles de mener à des situations de sous-adaptation ou de mal-adaptation ;

⁷³⁴ Fankhauser S, Soare R. (2013). "An economic approach to adaptation: illustrations from Europe", Climatic Change.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- Certains acteurs vulnérables peuvent être soumis à des **contraintes notamment financières**, limitant leur capacité à s'adapter (par exemple propriétaires les plus modestes de « bouilloires thermiques », vulnérables aux vagues de chaleur).

Les outils économiques et la réglementation présentent un potentiel important pour encourager l'adaptation privée, mais ces derniers sont encore peu développés⁷³⁵, à l'exception des instruments assurantiels. Ces leviers sont pourtant importants car la majorité des actions sont mises en œuvre par des acteurs privés, et l'ampleur du défi de l'adaptation dépassera les moyens publics disponibles pour y faire face⁷³⁶. Sont notamment mobilisables :

- des mécanismes de partage et de transfert des risques (par exemple en France, le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles pour les habitations et locaux professionnels) ;
- des mécanismes de marché (par exemple, le dispositif expérimental mis en place en 2020 pour rémunérer l'amélioration des services environnementaux rendus par les exploitations agricoles peut notamment contribuer à renforcer la résilience des cultures et préserver la ressource en eau) ;
- des mesures réglementaires (par exemple en France, les plans de prévention des risques naturels règlementent l'utilisation des sols en fonction des risques prévisibles dans les zones menacées par un risque climatique ; en Suisse, des architectes mandatés par les établissements d'assurance publics interviennent après une catastrophe pour « mieux reconstruire »⁷³⁷ ; en Espagne, un décret récent impose aux employeurs de mettre en place des mesures de protection pour les travailleurs en extérieur face au risque de stress thermique) ;
- des soutiens ciblés (e.g., fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), dit fonds Barnier en France qui finance des mesures de prévention et de protection contre les risques naturels majeurs).

Une stratégie d'adaptation requiert en premier lieu d'établir des trajectoires d'adaptation, définissant les choix d'adaptation selon un arbitrage entre leurs coûts et le niveau de risque.

- **Elle suppose de choisir pour chaque secteur et chaque aléa des niveaux de risques résiduels acceptables.** En effet, l'adaptation ne consiste ni à maintenir un niveau de risque constant, ni à maintenir un système en l'état, ce qui peut être impossible ou trop coûteux (e.g. maintien de certaines activités dans des zones de fort stress hydrique).
- **Le séquençage des actions est également primordial**, étant donné l'horizon temporel considéré, le caractère dynamique de l'adaptation, l'incertitude sur l'évolution du climat et l'ambivalence entre solutions de court terme et transformations de long terme. En particulier, si l'adaptation est souvent motivée par la gestion de risques immédiats, certaines interventions de protection à court terme peuvent renforcer les vulnérabilités à plus long terme (par exemple, les digues conduisent souvent à une densification de l'occupation dans des zones qui restent vulnérables à moyen et long terme).

En cohérence avec les orientations à long terme, trois types d'actions devraient être privilégiées à court terme pour l'adaptation⁷³⁸ :

- **Déclencher les actions « sans regret » ayant des bénéfices à court terme quelle que soit l'évolution du climat, notamment en cas d'impacts imminents ou de co-bénéfices (baisse**

⁷³⁵ Chambwera M. et al. (2014), Economics of adaptation in "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability", Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

⁷³⁶ DG Trésor (2024), « [La Stratégie Pluriannuelle des Financements de la Transition Écologique et de la politique énergétique nationale \(SPAFTE\)](#) ».

⁷³⁷ IGAS (2024), « [Les enjeux sociaux du changement climatique](#) ».

⁷³⁸ Frankhauser S. (2016), "Adaptation to climate change", Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

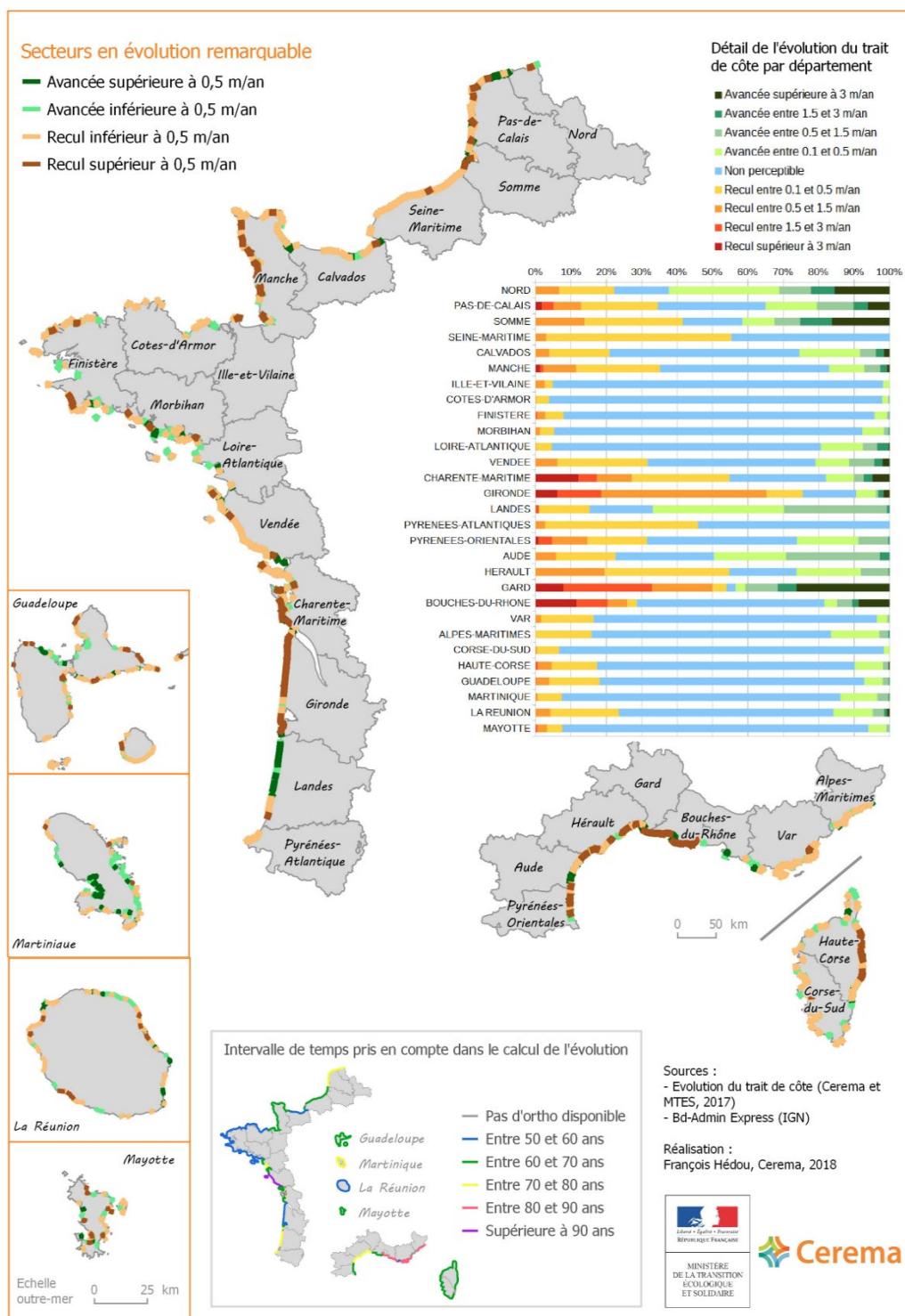
des émissions, préservation de la biodiversité, etc.). C'est par exemple le cas des mesures d'efficacité des usages de l'eau, de certaines protections contre les inondations et de mesures informationnelles ou de développement des compétences. Ainsi le troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)⁷³⁹, mis en consultation le 25 octobre 2024, compte plusieurs mesures visant à renforcer la prévention des risques naturels. S'agissant du risque d'inondations, le PNACC 3 prévoit notamment le renforcement des moyens du fonds Barnier, et l'intégration du changement climatique dans les référentiels utilisés pour dimensionner les politiques de prévention (notamment dans les plans de prévention des risques naturels).

- **Initier les actions d'adaptation dont les bénéfices se manifesteront à long terme**, tels que la recherche ou la sécurisation de foncier pour de futures actions de renaturation. Par exemple, en réponse à l'accélération du recul du trait de côte sous l'action du changement climatique (cf. Graphiques 1 et 2), le PNACC 3 prévoit notamment d'identifier un modèle de financement pour le réaménagement des territoires littoraux exposés.
- **Intégrer l'adaptation dans les décisions des acteurs publics et privés ayant des conséquences à long terme** (infrastructures, décisions de localisation d'actifs), par exemple dans le secteur forestier (peuplements adaptés etc.), agricole ou des secteurs intensifs en infrastructures (logement, énergie, transport, etc.). Le PNACC 3 devrait permettre des avancées importantes sur ce point, avec l'engagement pour l'État de ne plus financer des investissements non adaptés et de mettre l'ensemble des politiques publiques en conformité avec la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique d'ici 2030⁷⁴⁰.

⁷³⁹ [La France s'adapte - Vivre à +4°C : Dossier de présentation du PNACC](#)

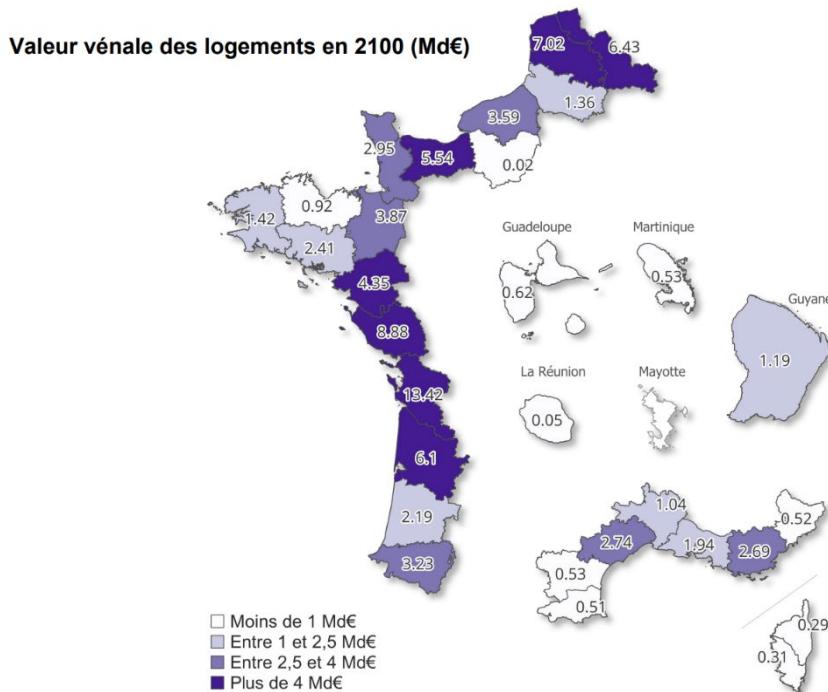
⁷⁴⁰ [Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique \(TRACC\)](#).

GRAPHIQUE 1
Évolution du trait de côte d'après les données de l'indicateur national de l'érosion côtière



Source : Cerema (2018)

GRAPHIQUE 2
Valeur vénale des logements menacés par l'érosion du trait de côte à horizon 2100 (Md€)



Source : Cerema (2024), « *Projection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national - Horizons 2050 et 2100* ».

Note : Le Cerema estime à 5 200 le nombre de logements menacés par l'érosion du trait de côte à horizon 2050 si les ouvrages actuels restent opérants (valeur vénale totale de 1,1 Md€ en 2023), et 450 000 à horizon 2100 dans un scenario d'effacement des ouvrages (valeur vénale totale de 86 Md€ en 2023).

12.2 Les enjeux assurantiels de l'adaptation au changement climatique

Le secteur assurantiel est particulièrement sensible aux effets du changement climatique en tant qu'acteur de l'indemnisation des sinistres résultant d'aléas climatiques. Au niveau mondial, le réassureur Swiss Re estime à 310 Md\$ les pertes économiques associées à des événements climatiques extrêmes en 2024 (en hausse de 6 % par rapport à 2023), dont près de 44 % sont couverts par l'assurance⁷⁴¹. En France, les coûts d'indemnisation de dommages liés à des aléas climatiques s'élevaient à 10,6 Md€ en 2022, soit 0,4 % du PIB (France Assureurs), sous l'effet conjugué de phénomènes intenses de grêle et d'une sécheresse d'ampleur inédite depuis 40 ans, et à 6,5 Md€ en 2023⁷⁴². Les travaux réalisés par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) sur les conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050 concluent à une hausse attendue de la sinistralité sous le régime Cat Nat (estimée aujourd'hui à 2,1 Md€/an en moyenne) comprise entre 47 % (soit 3,1 Md€ - scénario RCP4.5⁷⁴³) et 85 % (soit 3,8 Md€ - scénario RCP8.5⁷⁴⁴), en tenant compte de l'effet du climat et de l'impact de l'accroissement des valeurs assurées⁷⁴⁵. Le changement climatique se traduirait ainsi par un

⁷⁴¹ Swiss Re, Communiqué de presse du 5 décembre 2024. [Hurricanes, severe thunderstorms and floods drive insured losses above USD 100 billion for 5th consecutive year, says Swiss Re Institute | Swiss Re](#)

⁷⁴² France Assureurs, 27 mars 2024, « [Pour une France assurable](#) ». Ces estimations du coût des sinistres climatiques prennent en compte le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, la garantie « tempête, grêle, neige » et l'assurance récolte, qui couvre les pertes de récolte liées aux aléas climatiques.

⁷⁴³ Ce scénario du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) correspond à un niveau de réchauffement des températures mondiales contenu à environ +2°C à horizon 2100.

⁷⁴⁴ Ce scénario du GIEC correspond à un niveau de réchauffement des températures dépassant +4°C en 2100. Lors de la sortie du cinquième rapport du GIEC en 2014, le RCP8.5 représentait le scénario tendanciel pour les émissions de CO₂.

⁷⁴⁵ CCR (2023), [Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

coût de dommages assurés moyens annuels supérieur à 3 Md€ à l'horizon 2050, au titre du seul régime d'indemnisation des catastrophes naturelles et quel que soit le scénario de réchauffement du GIEC retenu. Cette étude met en évidence une dérive constatée de la sinistralité climatique depuis le début des années 2000 (estimée à 1,8 Md€ en 2000). L'augmentation du niveau des dommages annuels est particulièrement marquée concernant la sécheresse géotechnique, c'est-à-dire la sécheresse en présence de sols argileux, ces derniers favorisant les mouvements de retrait ou gonflement des sols selon leur teneur en eau et fragilisant ainsi les constructions et leurs fondations.

Dans ce contexte, les investissements d'adaptation constituent un moyen permettant de réduire la sinistralité climatique. Compte tenu de l'importance des coûts actuels et projetés, le risque associé au phénomène de retrait-gonflement des argiles, qui concerne environ 10 millions d'habitations individuelles en France, est prépondérant en matière de besoins d'adaptation. Néanmoins, des efforts d'adaptation sont également à prévoir pour réduire l'exposition significative du territoire aux risques d'inondation, de submersion marine, de sécheresse pluriannuelle agricole, d'orages grêligènes et aux risques spécifiques aux territoires ultra-marins (cyclones).

Des leviers tarifaires (modulation des franchises et primes) et non-tarifaires (sensibilisation et acculturation au risque des assurés, système d'alerte) peuvent être mobilisés par le secteur assurantiel pour orienter les efforts d'adaptation individuels en faveur de la protection et de la prévention face à ces risques. Par ailleurs, le secteur assurantiel participe à l'amélioration de la prévention dans le cadre d'initiatives de place (à titre d'exemple, « l'initiative sécheresse » annoncé par la CCR, la Mission des risques naturels (MRN) et France Assureurs en septembre 2023). En parallèle, sur le volet public, le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), dit fonds Barnier, créé par la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, finance des mesures de prévention ou de protection de personnes et de biens exposées aux risques naturels majeurs. Alimenté jusqu'en 2020 par un prélèvement auprès des assureurs, le fonds Barnier est financé par des crédits issus du budget de l'État depuis 2021. Au cours de la décennie écoulée, le FPRNM a financé chaque année en moyenne 770 opérations pour un montant de 175 M€ sur l'ensemble du territoire français, avec une dynamique d'engagement des financements qui s'est progressivement accrue ces dernières années pour dépasser 200 M€.

Dans ce contexte, une mission gouvernementale, lancée mi-2023, a été confiée à trois experts du secteur de l'assurance, du climat et de la prévention, pour réfléchir aux évolutions du système assurantiel français face aux enjeux posés par le changement climatique et élaborer des recommandations pour renforcer le rôle de l'assurance dans le financement de l'adaptation. Le rapport de mission sur l'assurabilité des risques climatiques (dit rapport Langreney⁷⁴⁶) a été remis aux ministres Bruno le Maire et Christophe Béchu en avril 2024. Le rapport formule 37 recommandations opérationnelles pour construire le modèle assurantiel de demain, qui s'articulent autour des deux axes suivants :

- Préserver un système assurantiel protecteur, accessible et mutualisé en assurant le rééquilibrage financier du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles ;
- Renforcer les efforts de prévention individuelle et collective face aux aléas climatiques, en associant le secteur de l'assurance, les pouvoirs publics, les entreprises et les ménages concernés.

Certaines orientations ont été reprises dans le cadre du troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)⁷⁴⁷, avec, par exemple, la création d'un Observatoire de l'assurance des risques climatiques. Cet Observatoire permettra de documenter la matérialité,

⁷⁴⁶ Langreney, Le Cozannet, Merad (2023) « [Adapter le système assurantiel français face à l'évolution des risques climatiques](#) ».

⁷⁴⁷ [La France s'adapte - Vivre à +4°C : Dossier de présentation du PNACC](#)

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

et le cas échéant, l'ampleur de la réduction de l'offre assurantielle sur certains territoires (cf. mesure 2 du PNACC 3). La Caisse centrale de réassurance remettra chaque année un rapport au ministre chargé de l'économie visant à informer les pouvoirs publics de l'évolution de l'offre assurantielle et des parts de marché au niveau national et dans les zones fortement exposées aux risques climatiques.

13 Les enjeux économiques des politiques de décarbonation du parc privé de logements : messages clés⁷⁴⁸

Le parc privé de logements, qui représente 9 % des émissions territoriales de gaz à effet de serre sur la phase d'usage (émissions directes), doit être complètement décarboné à l'horizon 2050 selon la stratégie nationale bas-carbone (SNBC).

- Le parc privé de logements représente une part substantielle des émissions de gaz à effet de serre en France : 9 % des émissions territoriales sur la phase d'usage des logements en ne comptant que les émissions directes, et jusqu'à 13 % si on tient compte des émissions indirectes liées à la production d'électricité et de chaleur et à la construction/rénovation. Le présent chapitre se concentre sur la réduction des émissions directes sur la phase d'usage.
- Le parc privé de logements doit être complètement décarboné à l'horizon 2050 selon la stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Les leviers de décarbonation du parc privé de logements sur la phase d'usage sont : le recours à une énergie bas-carbone via un changement de système de chauffage ou la décarbonation des vecteurs, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et des comportements plus sobres énergétiquement.
- L'exemple suédois, pays qui se caractérise par un très faible niveau d'émissions de son parc de logements après une réduction de 70 % depuis 1990, montre qu'un parc de logements bas-carbone est possible, à condition de mener un effort massif de long terme mobilisant conjointement et de manière ambitieuse plusieurs leviers. Dans le cas de la Suède, la stratégie s'est appuyée sur un signal-prix en faveur des énergies bas-carbone, notamment via une taxe carbone élevée, des réglementations (notamment des normes de construction neuves exigeantes, que la France a dorénavant adoptées), et une gouvernance ayant permis de développer des réseaux de chaleur urbains et péri-urbains.

La décarbonation du parc privé de logements, indispensable à l'atteinte de la neutralité carbone, doit surmonter des coûts d'abattement élevés.

- Les coûts d'abattement des émissions pour le parc privé de logements se caractérisent par une très forte hétérogénéité, des incertitudes importantes, et des valeurs observées beaucoup plus élevées qu'anticipées. En particulier, les économies d'énergie constatées après une rénovation énergétique apparaissent bien inférieures à ce qui était anticipé par des modèles de thermique du bâtiment, qui sont apparus trop optimistes, même si cela serait moins le cas pour les rénovations performantes et accompagnées. De plus, les coûts de la rénovation apparaissent également fortement sous-estimés dans les modèles couramment utilisés. En outre, les **caractéristiques de la filière rénovation (prédominance de TPE/PME, faibles gains de productivité, difficultés de recrutement)** constituent autant d'obstacles à une réduction future des coûts de la rénovation – sans qu'il soit possible d'étayer ce point empiriquement, la massification de travaux de rénovation des parcs

⁷⁴⁸ Cette section a été rédigée en 2023. Pour télécharger la totalité du chapitre : [ici](#).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

public et social pourraient aider la filière à se structurer. En revanche, la prise en compte des bénéfices sanitaires de la rénovation énergétique, bien que d'une ampleur sujette à une forte incertitude, rend très favorable l'équation socio-économique de la rénovation des passoires thermiques occupées par des ménages en situation de précarité énergétique.

- Les travaux d'isolation peuvent donc être efficaces pour améliorer la performance énergétique de logements très peu performants (passoires thermiques) mais présentent des coûts d'abattement plus élevés lorsqu'ils s'adressent à des logements déjà relativement performants.
- En cohérence avec la grille d'analyse des coûts d'abattement ABCDE présentée dans l'encadré 5, ces considérations sur les coûts d'abattement doivent être replacées dans une grille d'analyse plus large qui inclut notamment les enjeux de bouclage énergie et les effets distributifs.
- Cela suggère de commencer par cibler en priorité les travaux d'isolation sur les passoires thermiques et de favoriser pour le reste du parc surtout une décarbonation des modes de chauffage (e.g. passage aux pompes à chaleur, réseaux de chaleur), tout en se donnant les moyens d'augmenter la production d'énergie bas-carbone. En pratique, il existe toutefois des contraintes au développement de capacités de production bas-carbone (acceptabilité des énergies renouvelables notamment) qui invitent à considérer le risque de tensions sur le système électrique. Par ailleurs, il serait nécessaire d'envoyer de meilleures incitations économiques aux consommateurs d'électricité pour qu'ils modèrent leur consommation en période de pointe, ce qui réduirait le besoin de dimensionnement total du système électrique.
- La décarbonation du parc de logements nécessiterait des besoins d'investissements supplémentaires bruts importants, allant de +5 à +15 Md€/an en moyenne entre 2024 et 2030 selon les différentes études existantes, relativement à 2021. Selon un document de travail de la DG Trésor à paraître, les besoins du résidentiel seraient plafonnés à +10 Md€/an en moyenne en ciblant des gestes parmi les plus coûts-efficaces, consistant à horizon 2030 en une combinaison de rénovations globales de passoires thermiques et d'installation de pompes à chaleur. Ces investissements seraient financés par une combinaison de fonds privés et publics dont le partage dépend des instruments déployés.

La décarbonation du parc privé de logements doit aussi surmonter plusieurs défaillances de marché, dont de fortes asymétries d'information.

- La décarbonation des logements se heurte à plusieurs défaillances de marchés et de comportements en sus de l'externalité climatique, et en particulier des asymétries d'information sur la performance énergétique du bâtiment : entre propriétaire et locataire, entre propriétaire et artisan, ou encore entre propriétaire vendeur et potentiel acquéreur. L'importance relative de ces différentes défaillances est souvent mal connue, ce qui constitue un frein majeur à l'efficacité de l'action publique.
- En France, la « valeur verte » (i.e. la surcote dont bénéficie un logement ayant une bonne performance énergétique) à l'acquisition d'une maison contribuerait déjà de façon importante à ce que les investissements dans la rénovation soient rentabilisés via l'augmentation de la valeur du bien à la revente, et ce avant prise en compte des aides publiques. Les défaillances de marché contribuent probablement à expliquer pourquoi certaines rénovations n'ont pas lieu malgré l'intérêt financier à le faire.

Les pouvoirs publics ont mis en place une large palette d'instruments visant à lever les freins à la décarbonation des logements, dont l'efficience doit être mieux évaluée.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

- Une combinaison d'instruments associant aides aux ménages (e.g. MaPrimeRénov', les certificats d'économie d'énergie – CEE), tarification du carbone (composante carbone de l'accise sur les énergies), obligations de performance énergétique (e.g. interdiction de location des passoires thermiques, normes RE 2020 sur la construction neuve) et instruments informationnels (e.g. diagnostic de performance énergétique – DPE) a été mise en place en France depuis plusieurs années afin de favoriser la décarbonation du parc privé de logements, en ciblant notamment les différentes défaillances de marché identifiées.
- Instrument théoriquement le plus efficient pour inciter à la décarbonation (minimisation des coûts totaux de la transition, en particulier dans le contexte de coûts d'abattement hétérogènes), à condition de corriger en parallèle les autres défaillances de marché, en particulier les asymétries d'information, la tarification effective du carbone appliquée aux énergies de chauffage fossiles dans le secteur du logement était de 51 €/tCO₂.
- Les subventions à la rénovation pourraient augmenter à la fois le nombre de rénovations entreprises, en particulier si elles sont ciblées chez les ménages modestes, et le montant investi lors des travaux. C'est le sens des évolutions mises en œuvre depuis le passage du crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE) à MaPrimeRénov (MPR) et avec l'évolution de MPR en 2024. Il convient d'évaluer avec attention les économies d'énergie effectivement réalisées ainsi que l'incidence sur les finances publiques.
- Les obligations et des interdictions en matière de décarbonation du parc privé de logements peuvent jouer un rôle utile à condition d'être proportionnées et bien conçues. Le renouvellement des chaudières à fioul et l'installation de chaudières à gaz dans les maisons neuves sont ou seront prochainement interdites. Le calendrier annoncé d'interdiction de location de passoires thermiques peut inciter les propriétaires bailleurs à réaliser les travaux nécessaires, d'autant que la décote à la vente des logements peu performants s'est accrue, mais ses effets de bord sur le marché immobilier doivent encore être mieux analysés. Il convient toutefois de rester attentifs à leurs risques potentiels en matière d'efficacité, d'efficience et d'acceptabilité. Leur efficience économique dépendra du bon calibrage des obligations réglementaires en fonction des caractéristiques des ménages et des logements, qui est délicat en raison de leur diversité.
- Si la tarification du carbone a un effet spontanément régressif sur les ménages, avec de surcroît une forte hétérogénéité entre ménages pour un niveau de revenu donné, le design des mécanismes de subventions à la rénovation (MaPrimeRénov, CEE précarité) et d'accompagnement des ménages (chèque énergie), ciblés sur les plus modestes, permet de contrebalancer en partie ces effets anti-redistributifs.
- En tout état de cause, œuvrer à assurer des rénovations de qualité et fournir une information fiable sur la performance énergétique réelle des bâtiments améliore l'efficience économique de la décarbonation du parc privé de logements, et ce quelle que soit la combinaison d'instruments considérée.

Pour télécharger la totalité du chapitre : [ici](#).

14 Annexes

14.1 Annexe du Chapitre 2 – Effets macroéconomiques

Les besoins d'investissements supplémentaires en décarbonation pour réaliser la transition vers la neutralité carbone en France proviennent de deux sources, I4CE et Rexecode. L'estimation d'I4CE couvre les secteurs du logement, des bâtiments tertiaires (services marchands et publics), des transports (dont les infrastructures) et la production d'énergie. En outre, I4CE fait la distinction entre 1) les investissements de décarbonation (e.g. la rénovation complète des bâtiments, l'électrification du parc automobile ou le développement des énergies bas-carbone), 2) les désinvestissements dans les actifs émissifs (e.g. les voitures thermiques ou les raffineries) et 3) les investissements pour lesquels la transition aura un effet sans pour autant entrer dans les deux catégories précédentes (e.g. la construction de bâtiment ou l'achat de véhicules, du fait des hypothèses de changement de comportement des ménages vers davantage de sobriété, ou le développement des réseaux électriques et routiers). En complément, ces estimations sont complétées par celles de Rexecode portant sur l'agriculture, la forêt, l'industrie et les déchets. Ces deux évaluations permettent de couvrir la grande majorité des investissements en décarbonation même si des différences méthodologiques peuvent exister entre elles⁷⁴⁹.

La perte potentielle de productivité a été évaluée à partir de ces estimations des besoins d'investissements supplémentaires en décarbonation pour les entreprises. Sur la base d'une fonction de production, dans laquelle le niveau de production, de travail et d'investissement productif est donné, la hausse du stock de capital agrégé (cohérente avec les surplus d'investissements en décarbonation, nets des désinvestissements émissifs et de la variation des autres investissements concernés par la transition écologique) implique un ralentissement de la croissance du progrès technique. Si ces hypothèses rendent compte du fait que ces investissements en décarbonation ne visent pas en premier lieu à accroître le niveau de production, elles sont également conservatrices : les entreprises pourraient également chercher à réaliser des gains de productivité pour limiter les conséquences économiques du surcoût de ces investissements.

Les estimations de l'impact de la transition énergétique dans le monde sont réalisées avec le modèle Oxford Economics. Ce modèle macroéconométrique est développé depuis 1990 par Oxford Economics, une entreprise commerciale associée à l'Université d'Oxford. Il s'agit d'un modèle couvrant 85 pays en détail et 6 blocs régionaux permettant de modéliser implicitement 108 pays supplémentaires qui interagissent par le biais de relations commerciales, de relations financières (taux de change et taux d'intérêt) et de prix. Les pays ou blocs régionaux affichent généralement la même structure d'équations – laquelle est parfois plus détaillée pour certains pays avancés – à l'exception de certains pays fortement dépendants d'un secteur spécifique (e.g. pétrole). Le modèle repose principalement sur des équations de comportement à correction d'erreur, dont les coefficients sont estimés sur les données historiques des différents pays ou issus de la littérature académique. En pratique, le modèle permet de réaliser des simulations sur un horizon de 25 ans, à fréquence trimestrielle. Le modèle présente notamment un intérêt pour apprécier les effets de contagion internationaux de chocs localisés, mais aussi de pouvoir prendre en compte l'équilibre épargne-investissement au niveau mondial.

Les simulations sont réalisées avec les paramètres par défaut d'Oxford Economics⁷⁵⁰, à savoir (i) des anticipations adaptatives des agents (i.e. pas d'anticipations rationnelles), (ii) des politiques monétaires flexibles et suivant des règles de Taylor et (iii) l'absence de règle budgétaire des États.

⁷⁴⁹ Cf. Gourmand L. (2024), op. cit.

⁷⁵⁰ Le scénario de référence sans choc est celui de juillet (1^{ère} version) 2024.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Oxford Economics peut modéliser en partie les effets du changement climatique sur l'économie mais, en raison de limites dans cette modélisation, cette option n'a pas été utilisée. Les résultats sont présentés toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire qu'ils montrent les effets de la transition en supposant qu'aucun autre choc n'a lieu dans le monde. Les effets d'une baisse des prélevements sur les salaires payés par les entreprises n'ayant pas d'effet sur l'activité à long terme, un choc supplémentaire est réalisé sur le taux de chômage structurel avec des élasticités issues de la littérature. Enfin, les recettes de la fiscalité sur les produits carbonés sont calculées à partir de la trajectoire d'émissions de l'AIE. En effet, les émissions issues d'Oxford Economics sont significativement trop élevées au regard de la trajectoire du prix du carbone correspondant à chaque scénario.

Cette modélisation comporte plusieurs limites. En premier lieu, la consommation d'énergies fossiles ne diminue pas assez pour être cohérente avec la trajectoire d'émissions carbone des différents scénarios. En conséquence, l'effet de la hausse du prix du carbone sur l'économie dépend disproportionnellement des énergies fossiles. En outre, le prix du carbone ne s'ajuste pas pour tenir compte des fluctuations économiques causées par les chocs pouvant affecter les émissions. Par ailleurs, la transition est modélisée via un choc de prix du carbone et un choc d'investissement. Toutefois, il est possible que la transition énergétique se traduise, par exemple, par des variations de la productivité⁷⁵¹, qui ne sont pas modélisées. L'acceptabilité de la transition, qui serait par exemple susceptible de créer des inégalités entre et au sein des États, n'est pas prise en compte. Enfin, les hypothèses retenues de prix du carbone pour atteindre la neutralité carbone présentent un écart modeste entre les pays avancés et les autres alors que le principe de responsabilité commune mais différenciée peut supposer une plus forte nuance dans l'effort de chacun des pays.

Les dommages évités par les politiques de transition sont issus des modélisations du NGFS. Il s'agit de dommages chroniques estimés à partir d'une projection des températures (moyenne et variabilité) par scénario climatique utilisant les données du Projet de comparaison des modèles d'impact intersectoriels (ISIMIP)⁷⁵², et d'une fonction de dommages macroéconométrique construite d'après les travaux de Kotz et al. (2024)⁷⁵³. Cette branche de la littérature économique demeure récente, évolue rapidement, et invite toujours à prendre ces estimations avec prudence.

Bibliographie afférente à la revue de littérature :

- Black S., Parry I. W. H. et Zhunussova K. (2024), « [Sleepwalking to the Cliff Edge ? : A Wake-up Call for Global Climate Action](#) », IMF Staff Climate Note n°2024/006.
- Callonnet G., Garneron M., Jacquetin F. (Ademe), Allen T., Dées S., de Gaye A., Lisack N. (Banque de France), Couix Q., Dang W., Ghersi F. (CIRED), Boitier B., Le Mouél P. et Zagamé P. (Seureco) (2023), « [Risques de transition : une analyse multi-modèles pour la France – Rapport final](#) », Ademe.
- Château J. et Guillemette Y. (2023), « [Long-term scenarios: incorporating the energy transition](#) », OCDE, Economic Policy Paper n°33.
- Coenen G., Lozej M. et Priftis R. (2024), « [Macroeconomic effects of carbon transition policies: an assessment based on the ECB's New Area-Wide Model with a disaggregated energy sector](#) », ECB Working Paper n°2819.

⁷⁵¹ Pisani-Ferry J. et Mahfouz S. (2023), op. cit.

⁷⁵² ISIMIP W5E5 Climat Dataset v2.0. Cf. Warszawski et al. (2013), « Research Design of the ISI-MIP ».

⁷⁵³ Kotz M., Levermann A. et Wenz L. (2024), « [The economic commitment of climate change](#) », Nature 628, 551–557.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Commission européenne (2024), « [Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society](#) », Commission Staff Working Report.

FMI (2022), « [Near-Term Macroeconomic Impact of Decarbonization Policies](#) », World Economic Outlook Report.

In 't Veld J., Roeger W. et Varga J. (2022), « [E-QUEST: A multisector dynamic general equilibrium model with energy and a model-based assessment to reach the EU climate targets](#) », Economic Modelling, Volume 114.

Lee R., Rojas-Romagosa H., Ruxandra Teodoru I. et Zhang X. (2024), « [Climate Transition Risk and Financial Stability in France](#) », IMF Working Paper n°24/144.

Mahfouz S. et Pisani-Ferry J. (2023), « [Les incidences économiques de l'action pour le climat – Rapport de synthèse](#) », France Stratégie.

Réseau pour le verdissement du système financier (NGFS) (2024), « [NGFS long-term scenarios for central banks and supervisors](#) », NGFS.

14.2 Annexe du Chapitre 4 – Enjeux pour les finances publiques

14.2.1 Illustration de l'impact des instruments de politique climatique sur les finances publiques - méthodologie

Le concept de signal-prix du carbone est utilisé pour obtenir une métrique d'équivalence entre instruments et garantir l'adéquation de leur calibrage avec l'atteinte des objectifs climatiques. Celui-ci correspond au signal-prix sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) induit par l'ensemble des politiques climatiques. La Valeur d'Action pour le Climat (VAC)⁷⁵⁴ est retenue comme chronique d'équivalent signal-prix du carbone permettant d'atteindre les objectifs climatiques. La VAC est la valeur tutélaire retenue dans l'analyse socioéconomique pour valoriser les réductions d'émissions et déterminer si un investissement de décarbonation est socioéconomiquement rentable. Elle est en partie choisie sur la base de chroniques de signaux-prix du carbone issus de modèles macroéconomiques (i.e. indicateur agrégé rendant compte du niveau de contrainte pesant sur les émissions de GES) permettant d'atteindre les objectifs climatiques. Toutefois, d'autres modèles et hypothèses sont mobilisés pour choisir la trajectoire de la VAC. Par souci de simplicité, on retient néanmoins cette interprétation théorique pour cette analyse. Le prix implicite du carbone est aussi calculé pour le scénario Avec Mesures Existantes (AME) de la SNBC 3, retenu comme scénario contrefactuel tendanciel. Ce dernier est comparé à la VAC pour identifier l'effort additionnel de politiques publiques (tarification, subvention, réglementations) à déployer pour atteindre la neutralité carbone⁷⁵⁵. Dans ce scénario tendanciel, le prix implicite du carbone atteint 450 €₂₀₁₈/tCO₂éq en 2050, dont près de 50 €₂₀₁₈/tCO₂éq de tarification du carbone. Dans les scénarios Sub et Reg, les subventions et les réglementations complètent respectivement ce prix du carbone implicite tendanciel pour atteindre la VAC. Dans le scénario Tax, la tarification du carbone doit augmenter de près de 350 €₂₀₁₈/tCO₂éq par rapport au tendanciel en 2050, tandis qu'elle augmente d'environ

⁷⁵⁴ Alain Quinet et al. (2019) « [La valeur de l'action pour le climat](#) », Rapport France Stratégie. Une nouvelle version de la VAC basée sur la SNBC 3 devrait être publiée en 2025 et pourra servir à actualiser ces estimations.

⁷⁵⁵ La trajectoire d'émissions sous-jacente de la VAC correspond à celle du scénario Avec Mesures Supplémentaires – AMS – de la SNBC 2.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

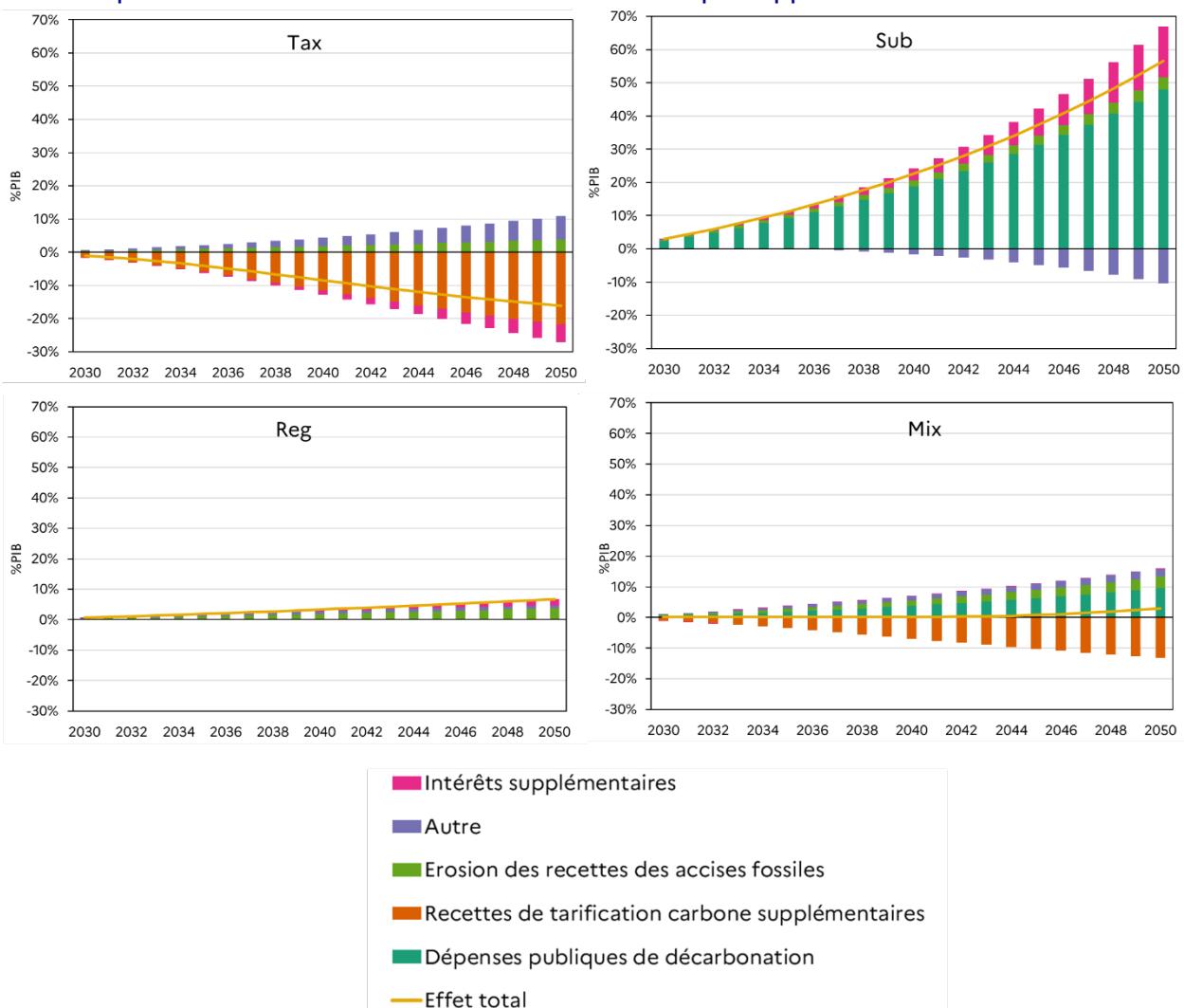
200 €₂₀₁₈/tCO₂éq dans le scénario Mix, en complément de subventions et de réglementations additionnelles représentant un prix implicite du carbone de 150 €₂₀₁₈/tCO₂éq. L'inefficience des subventions n'est pas prise en compte par le biais du prix implicite du carbone, qui est identique dans l'ensemble de ces scénarios net-zéro illustratifs et égal à la VAC, mais par la nécessité de dépenser trois fois plus que dans un scénario de dépense publique parfaitement efficiente pour créer un même prix implicite du carbone via des subventions.

Les effets des scénarios sur les finances publiques sont calculés en différentiel à un scénario contrefactuel tendanciel d'évolution des finances publiques.

La variation du ratio d'endettement public rapporté au PIB par rapport à l'AME est décomposée en plusieurs contributions : la hausse des dépenses publiques de décarbonation ou d'accompagnement, la hausse des recettes de tarification carbone, l'érosion des recettes d'accise sur les produits fossiles, la charge d'intérêts de la dette publique et un terme résiduel (« autre ») qui traduit en partie les effets de la croissance du PIB. Le signe de ce terme est généralement positif (i.e. il augmente le ratio d'endettement par rapport au contrefactuel), pouvant être interprété comme la hausse de l'endettement liée au ralentissement de l'activité. Il devient négatif lorsque l'écart de ratio d'endettement entre le scénario de transition et le contrefactuel atteint un niveau suffisamment élevé, dans le scénario Sub.

GRAPHIQUE 1

Décomposition de la variation du ratio d'endettement par rapport au scénario contrefactuel



Source : calculs DG Trésor

14.2.2 À politique inchangée, l'électrification des véhicules s'accompagnerait d'une dégradation de la couverture des externalités du secteur routier, bien qu'elle soit moins importante que dans un scénario fictif sans électrification

Cette section confronte l'érosion des recettes issues des carburants fossiles à la couverture des externalités au sein du secteur routier à horizon 2050. La baisse du rendement de l'accise sur les énergies consommées par le secteur routier signifie en effet une moindre tarification des diverses externalités du secteur.

14.2.2.1 L'électrification des véhicules routiers joue un rôle important dans l'érosion des recettes fiscales sur les énergies fossiles

La tarification routière représente aujourd'hui des recettes conséquentes en France, en particulier les recettes de l'accise sur les carburants routiers. Le secteur routier est à l'origine de la quasi-totalité des recettes nettes de l'accise sur les produits énergétiques (ex-TICPE). Les recettes fiscales sur les carburants routiers représentaient en 2020 1,2 % du PIB⁷⁵⁶.

En France comme à l'étranger, l'électrification des véhicules est l'un des principaux leviers de décarbonation envisagé pour le secteur des transports. Le taux d'électrification⁷⁵⁷ actuel du parc de véhicules privés est très variable selon les pays et reste peu élevé en Europe, sauf exceptions (cf. Graphique 2) : en Norvège, il atteint 27 % en 2022 ; en France, il est de 3 % mais suit une accélération marquée depuis 2020. La SNBC 3 attribue un rôle important à l'électrification pour décarboner le secteur routier et prévoit une pénétration rapide des véhicules électriques⁷⁵⁸ : à l'avenir, ce taux d'électrification devrait atteindre 19 % en 2030 (dont 15 % de véhicules à batterie) et 100 % en 2050 (cf. Graphique 2). Cela reflète notamment l'interdiction de la vente de véhicules thermiques neufs qui sera en vigueur à partir de 2035 dans l'Union européenne⁷⁵⁹.

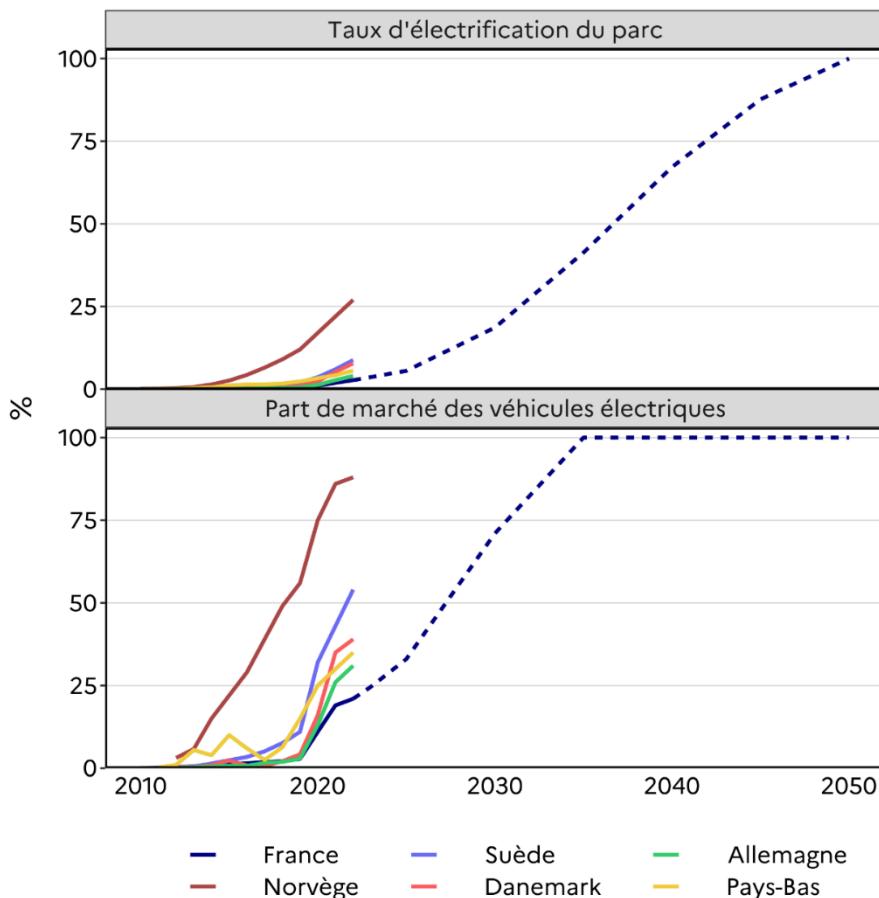
⁷⁵⁶ Commission Européenne (2022), "Taxation trends in the European Union, Data for the EU Member States, Iceland, Norway : 2022 edition".

⁷⁵⁷ Le taux d'électrification désigne la proportion de véhicules électriques dans l'ensemble du parc de véhicules. Il inclut les véhicules à batterie et les hybrides rechargeables.

⁷⁵⁸ Secrétariat général à la planification écologique (2023), « [Mieux agir, la panification écologique – Synthèse du plan](#) ».

⁷⁵⁹ Vie Publique (2022), « [Union européenne : vers l'interdiction de voitures neuves à moteur thermique dès 2035](#) »

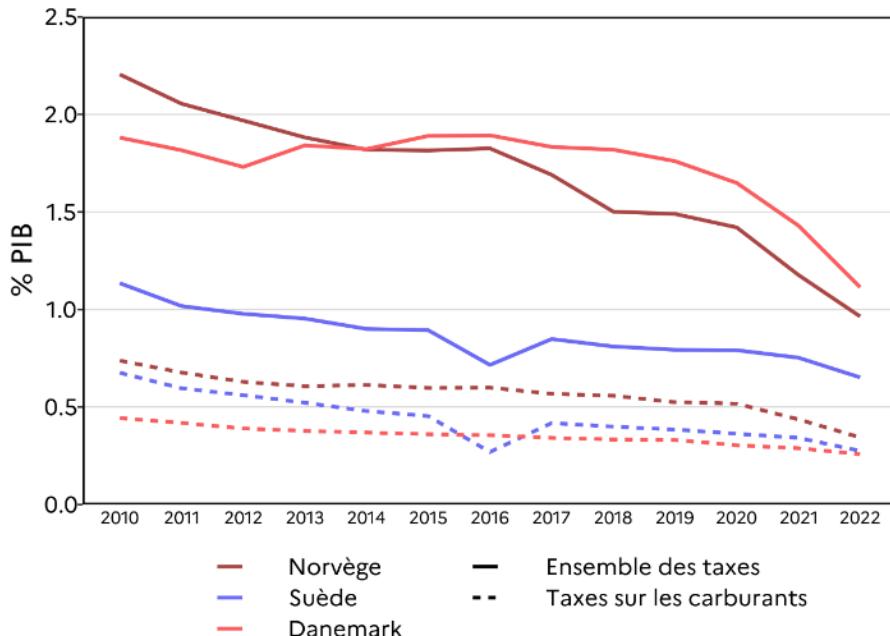
GRAPHIQUE 2
Taux d'électrification du parc automobile et parts de marché des véhicules électriques dans les ventes de véhicules neufs pour plusieurs pays européens



L'électrification du parc de véhicules routiers joue un rôle important dans l'érosion des recettes fiscales, à fiscalité inchangée. L'électrification des véhicules induira une érosion des recettes de l'accise sur les carburants routiers, qui ne sera pas compensée par les recettes fiscales sur l'électricité (cf. Section 4.3) à fiscalité inchangée. Dans les pays scandinaves, où le taux d'électrification des véhicules routiers est déjà élevé, les recettes de fiscalité routière diminuent depuis les années 2010 (cf. Graphique 3). Ils font en effet face à une érosion des recettes de taxe sur les carburants routiers, et deux d'entre eux (Norvège et Danemark) ont également enregistré une érosion des recettes de taxes à l'acquisition et de propriété, qui ont été réduites pour les véhicules électriques afin d'inciter à l'électrification⁷⁶⁰.

⁷⁶⁰ L'établissement d'une relation causale entre électrification et érosion des recettes observée dans ces pays nécessiterait toutefois une étude plus approfondie, afin de contrôler certains paramètres ayant pu varier sur la période (fiscalité, kilométrage, etc.).

GRAPHIQUE 3
Évolution des recettes fiscales en provenance du secteur routier
dans les pays scandinaves de 2010 à 2022



Source : statistiques nationales ; OCDE ; calculs DG Trésor.

Note : Les chiffres présentés incluent l'accise sur les énergies, les taxes carbone, les taxes d'acquisition et de propriété, les recettes de péage et d'autres taxes résiduelles pouvant varier d'un pays à un autre (e.g. taxe de recyclage ou d'assurance) ; ils n'incluent pas de recettes de TVA. Ces chiffres ne correspondent pas forcément au même périmètre sectoriel d'un pays à l'autre (uniquement transport automobile pour la Norvège, ensemble du secteur routier pour les autres) ni au même ensemble de taxes sur les carburants considérées (pas de données sur les recettes de taxe carbone provenant du secteur routier au Danemark ; les taxes sur les carburants correspondent uniquement à l'essence pour le Danemark et la Suède alors qu'elles incluent également le diésel pour la Norvège).

14.2.2.2 Les externalités du secteur routier sont actuellement légèrement sous-tarifées par rapport à leur coût pour la société

Selon la théorie économique, la tarification optimale d'un mode de transport consiste à faire payer à l'usager les coûts externes que son déplacement engendre pour la collectivité (usure de l'infrastructure, accidents, pollutions, etc.). La tarification optimale consisterait ainsi à tarifer chaque externalité marginale au niveau de son coût marginal.

Le Commissariat général au développement durable (CGDD) a comparé pour l'année 2015 les externalités associées aux transports routiers aux prélèvements sur ce secteur⁷⁶¹. Les principales externalités sont les pollutions locales (~37 % des externalités sur l'ensemble du parc en 2015), les accidents (~36 %), les émissions de gaz à effet de serre (GES, ~13 %) et les coûts d'infrastructures (~13 %). Les prélèvements sur le secteur sont l'accise sur les énergies (~66 % des prélèvements sur l'ensemble du parc en 2015), les péages (~23 %), les primes d'assurance ainsi que diverses taxes sectorielles. Dans la présente analyse de la DG Trésor, la congestion est considérée comme un coût non marchand qui est supporté par les usagers de la route, et pas comme une externalité à l'échelle du secteur routier⁷⁶². Cette analyse ne couvre pas non plus la totalité des externalités : ni la pollution de l'air hors échappement des véhicules thermiques et électriques, ni les émissions de gaz à effet de serre en amont de la production d'électricité pour les véhicules électriques ne sont prises en compte. La pollution de l'air hors échappement des véhicules électriques pourrait

⁷⁶¹ CGDD (2020), « [Mobilités - Coûts externes et tarification du déplacement](#) », Théma Transport.

⁷⁶² Cette approche diffère de celle suivie dans le Trésor-Éco n°283 de 2021, " [Les usagers de la route paient-ils le juste prix de leurs circulations ?](#) ", qui traite la congestion comme une externalité, en définissant une externalité comme un coût externe à l'usager plutôt qu'au secteur qui la génère (approche retenue dans la présente analyse).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

augmenter si les véhicules sont plus lourds⁷⁶³. Ces hypothèses peuvent être qualifiées de conservatrices : les coûts externes de la route présentés ici sont probablement sous-estimés.

D'après des calculs de la DG Trésor fondés sur ces travaux, en moyenne, sur l'ensemble du parc routier (poids lourds, véhicules particuliers, utilitaires légers, bus et cars), 86 % des externalités de la route étaient couvertes par la tarification en 2015. Le coût externe marginal était de 8 c€ par véhicule-kilomètre⁷⁶⁴ (vkm), dont 3 c€/vkm pour les pollutions locales et 1 c€/vkm pour les émissions de CO₂, tandis que le prélèvement marginal était de 7 c€/vkm. L'accise sur les produits énergétiques représentaient 5 c€/vkm et les péages 2 c€/vkm. Le taux de couverture chute à 36 % si le coût de congestion (11 c€/vkm en 2015) est ajouté aux externalités.

14.2.2.3 À tarification inchangée, la couverture des externalités se dégraderait à l'avenir malgré l'électrification des véhicules

L'analyse produite par le CGDD a été actualisée et projetée dans le présent rapport jusqu'à 2050 en intégrant la trajectoire de la valeur de l'action pour le climat (VAC)⁷⁶⁵ ainsi que les trajectoires de la SNBC 3⁷⁶⁶, en cours d'élaboration, pour la demande en transport de chaque mode, le report modal vers les transports en commun, l'électrification du parc roulant et les progrès d'efficacité énergétique et de réduction des émissions polluantes des véhicules⁷⁶⁷.

La valorisation des externalités climatiques est représentée par la hausse de la VAC au cours du temps. La VAC est utilisée dans l'évaluation socioéconomique pour donner une valeur monétaire aux émissions de GES.

Compte tenu de l'électrification, le taux de couverture des externalités dans le secteur routier pourrait chuter à 55 % d'ici 2050 (cf. Graphique 4, Tableau 1). Les externalités marginales du secteur routier diminuent sous l'effet de l'électrification des véhicules (de 9 c€/vkm en 2020 à 4 c€/vkm en 2050), qui permet de limiter les émissions de GES et la pollution de l'air mais n'a pas d'impacts a priori sur les coûts d'infrastructures et les accidents de la route. En parallèle, l'électrification s'accompagne d'une baisse de près de trois quarts de la tarification en moyenne sur les différents modes (de 8 c€/vkm en 2020 à 2 c€/vkm en 2050), plus forte que la réduction des externalités, du fait d'une moindre fiscalité au kilomètre parcouru pour les véhicules électriques. La hausse de la VAC dégrade la couverture des externalités des véhicules thermiques résiduels sur la trajectoire de transition (cf. Tableau 2), bien qu'ils aient complètement disparu du parc à l'horizon 2050.

⁷⁶³ ADEME (2022), « [Emissions des Véhicules routiers - Les particules hors échappement](#) ».

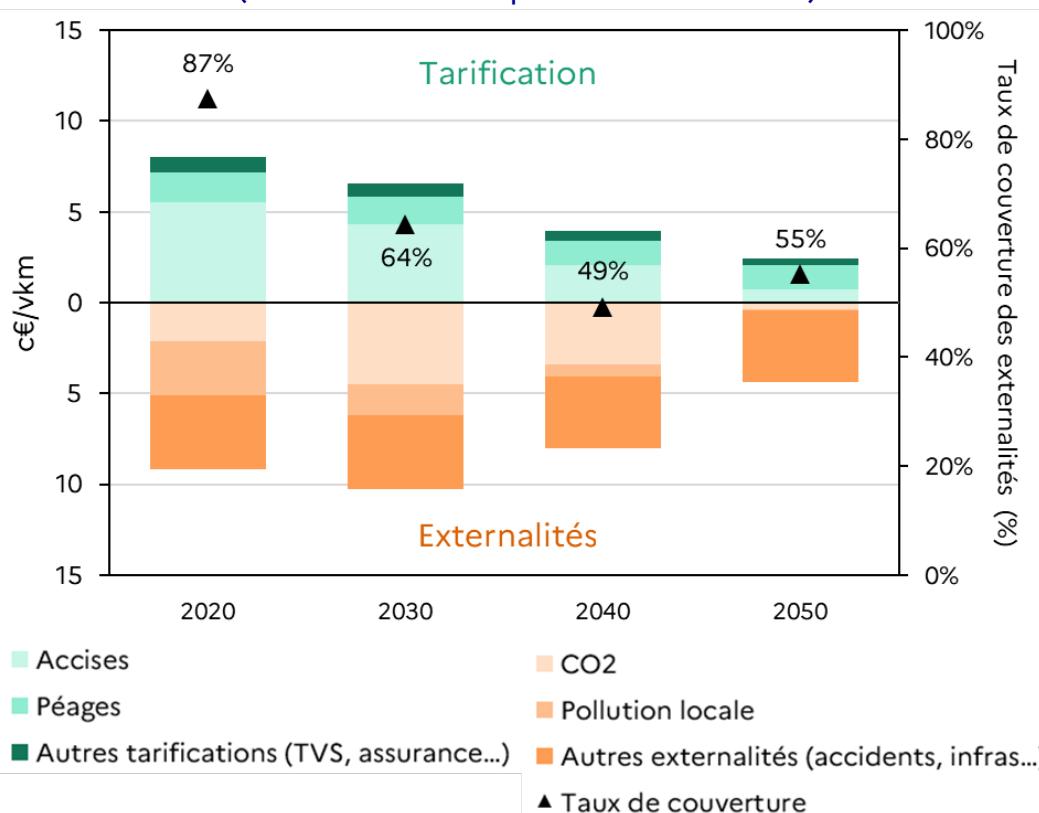
⁷⁶⁴ Les coûts sont exprimés en €₂₀₁₅.

⁷⁶⁵ Commission Quinet 2019 : 775 €/tCO₂ en 2050 contre 42 €/tCO₂ en 2015.

⁷⁶⁶ Les projections des dynamiques de mobilité routière utilisées pour cette analyse s'appuient sur les hypothèses du scénario AMS du run 1 bis de la SNBC 3. Elles prennent en compte les distances parcourues par les véhicules particuliers, les véhicules utilitaires légers, les poids lourds et les transports en commun.

⁷⁶⁷ L'analyse se focalise sur les véhicules domestiques et ne prend pas en compte les flux étrangers.

GRAPHIQUE 4
Projection de la couverture des coûts externes du secteur routier par sa tarification
(tous modes de transport routier confondus)



Source : Calculs DG Trésor.

Note : les chiffres présentés correspondent à la moyenne pondérée de la tarification marginale et du coût marginal des différents modes de transport routier.

La couverture des externalités diminue à la fois pour les poids lourds et les véhicules particuliers avec l'érosion de l'accise sur les énergies. La sous-tarification des externalités est plus marquée pour les poids lourds que les véhicules particuliers aujourd'hui (cf. Tableau 1). 86 % du coût externe marginal des poids lourds était couvert en 2020, contre 91 % pour les véhicules particuliers. La couverture des externalités diminue à mesure que le parc s'électrifie (50 % de taux de couverture pour les véhicules particuliers en 2050, 68 % pour les poids lourds). La baisse de la couverture des externalités est plus importante pour les véhicules particuliers que les poids-lourds, car ces derniers continuent d'être tarifés substantiellement via les péages.

14.2.3 La tarification du secteur routier évolue à l'étranger pour concilier les objectifs de rendement, de tarification des externalités et d'électrification durant la transition⁷⁶⁸

Cette section analyse les évolutions en cours ou à venir de la tarification routière dans plusieurs pays européens, en particulier dans les pays scandinaves, face aux enjeux de l'électrification. Cette analyse porte sur le secteur routier dans son ensemble et principalement sur les véhicules privés. Elle porte uniquement sur six pays européens caractérisés par un taux d'électrification élevé (Norvège, Suède, Danemark) ou des évolutions récentes et/ou à venir de la tarification routière (Allemagne, Royaume-Uni, Pays-Bas). Les véhicules électriques considérés dans cette analyse sont principalement les véhicules électriques à batterie et les véhicules hybrides rechargeables. Les pays où l'électrification du parc est la plus avancée sont déjà confrontés à l'érosion des recettes

⁷⁶⁸ Cette section a été rédigée en 2023 dans le cadre de la [version intermédiaire](#) de ce rapport.

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

énergétiques. La fiscalité routière évolue afin de tenter de concilier les objectifs de rendement budgétaire, de tarification des externalités routières, et de décarbonation.

14.2.3.1 Norvège

Le parc automobile norvégien est le plus électrifié d'Europe, grâce à des mesures incitatives variées pour avantager les véhicules électriques par rapport aux véhicules thermiques, notamment une exonération de la fiscalité à l'acquisition très élevée. La part de marché des véhicules électriques et hybrides rechargeables dans les ventes de voitures neuves atteignait 88 % en 2022⁷⁶⁹ et jusqu'à 96 % en mai-juin 2023⁷⁷⁰, pour un taux d'électrification du parc de 27 %, inégalé en Europe et dans le monde. Cela s'explique par une fiscalité très élevée à l'acquisition et à la propriété de véhicules dont sont exonérés les véhicules électriques et par des taxes élevées sur les carburants routiers :

- Fiscalité à l'acquisition : la fiscalité à l'acquisition d'un véhicule est composée de la taxe d'immatriculation – modulée depuis 2007 selon l'intensité carbone du véhicule^{771,772} – et de la TVA à 25 %. En 2018, la taxe d'immatriculation moyenne était de 6 560 € par véhicule⁷⁷³. Cette fiscalité était particulièrement avantageuse pour les véhicules électriques à batterie jusqu'en 2023 avec une exemption totale de taxe d'immatriculation mais aussi de TVA depuis 2001⁷⁷⁴.
- Fiscalité à la propriété : les véhicules électriques bénéficiaient d'une exemption de taxe annuelle de propriété⁷⁷⁵ de 1996 jusqu'en 2021. Elle était en moyenne de 300 €/an en 2018 pour les véhicules thermiques⁷⁷⁶.
- Fiscalité énergétique : les véhicules thermiques sont soumis à la taxe carbone et aux autres taxes sur les carburants fossiles. La taxe carbone sur les carburants routiers était d'environ 85 €/tCO₂ en 2022 et devrait atteindre 192 €/tCO₂ en 2030⁷⁷⁷. Les véhicules électriques sont exemptés des taxes sur l'électricité.
- Péages : les recettes de péages (routiers et urbains) représentaient en 2022 0,2 % du PIB et 25 % des recettes publiques issues du secteur routier. Les véhicules électriques bénéficient aussi souvent de tarifs réduits (cf. *infra*).

L'électrification du parc se reflète dans l'évolution des recettes fiscales du secteur routier, avec une diminution simultanée des taxes forfaitaires et des taxes sur les carburants depuis 2010. Les recettes de taxe d'immatriculation sont passées de 0,9 % à 0,2 % du PIB de 2010 à 2022, conséquence de la part de marché croissante des véhicules électriques, qui en sont exonérés. D'après l'OCDE, la dépense fiscale en faveur des voitures électriques sur les taxes d'acquisition (taxes d'immatriculation et TVA) représentait en 2021 1,2 % du PIB, soit 1,4 Md€ sur la taxe d'immatriculation et 1 Md€ sur la TVA à l'achat⁷⁷⁸. Les recettes de taxe annuelle de propriété diminuent dans une moindre mesure sous l'effet de l'électrification du parc. Les recettes de l'accise sur l'essence et le diesel diminuent également progressivement depuis 2010 à hauteur de -0,3 % du PIB en 2022, sans être compensées par les recettes de taxe carbone, restées stables autour de 0,1 % du PIB. Les recettes de péages sont également stables autour de 0,2 % du PIB.

⁷⁶⁹ AIE (2023), "Global EV Data Explorer".

⁷⁷⁰ Bloomberg (2023), "Norway Pulls the Plug on EV Tax Incentives and Subsidies".

⁷⁷¹ Shiyu Yan, Gunnar S. Eskeland (2018), "Greening the vehicle fleet: Norway's CO₂-Differentiated registration tax".

⁷⁷² OCDE (2022), "Environmental performance reviews : Norway".

⁷⁷³ Gunnar S. Eskeland, Shiyu Yan (2021), "The Norwegian CO₂-differentiated motor vehicle registration tax".

⁷⁷⁴ *Ibid.*

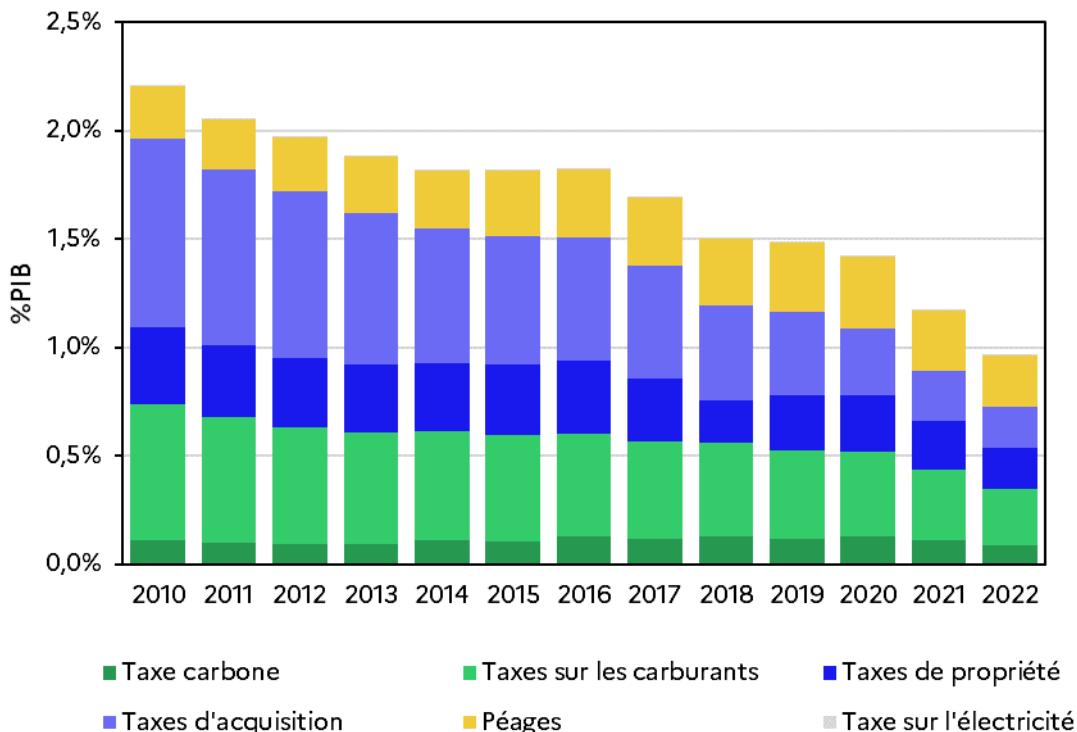
⁷⁷⁵ En 2018, cette taxe fut renommée en taxe d'assurance.

⁷⁷⁶ Lasse Fridstrom, Niels Buus Kristensen, Gunnar Lindberg (2021), "Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO₂ mitigation effects".

⁷⁷⁷ Grosjean J., Duédal É. (2021), « Les stratégies nordiques pour le climat », Trésor-Éco n°285, Direction Générale du Trésor.

⁷⁷⁸ OCDE (2022), "Environmental performance reviews : Norway".

GRAPHIQUE 5
Recettes fiscales en provenance du secteur routier en Norvège de 2010 à 2022



Source : Norway Statistics pour les recettes de péages ; OCDE pour les autres recettes. Calculs DG Trésor.

Note : les chiffres présentés correspondent aux recettes fiscales provenant des véhicules automobiles uniquement, sauf pour les péages qui correspondent à l'ensemble des recettes issues des péages routiers et urbains (tous véhicules confondus). Les taxes sur les carburants (essence et diesel) n'incluent pas la TVA.

Dans un contexte d'électrification très élevée des ventes, et face au manque à gagner budgétaire dû aux politiques de soutien à l'électrification et à leurs effets indirects, le gouvernement norvégien commence à revenir sur certaines incitations favorables aux véhicules électriques. Le gouvernement norvégien a présenté au parlement en 2021 les principes généraux d'une meilleure conciliation des objectifs environnementaux et de rendement de la tarification routière. Plusieurs mesures ont ensuite été introduites pour réduire les dépenses fiscales ciblant les véhicules électriques et désinciter à l'utilisation de la voiture :

- Fiscalité à l'acquisition⁷⁷⁹ : la Norvège a mis fin en 2023 à l'exonération totale de taxe d'immatriculation et de TVA pour les véhicules électriques. Le taux de TVA de 25 % est désormais appliqué au-delà de 43 000 €. La taxe d'immatriculation concerne désormais les véhicules électriques les plus lourds, qui doivent s'acquitter d'une taxe de 1,1 € par kg supplémentaire par rapport à un poids de référence de 500 kg, ce qui équivaut à une taxe entre 1 200 et 1 800 € pour la plupart des voitures électriques⁷⁸⁰.
- Fiscalité à la propriété⁷⁸¹ : la taxe annuelle d'assurance a été réintroduite pour les véhicules électriques en 2021, d'abord à un taux réduit puis au taux complet depuis 2022.

La Norvège s'appuie également sur les péages pour financer la construction et l'entretien des infrastructures de transport et de plus en plus pour tarifer et réduire les autres externalités du secteur routier. Plusieurs villes norvégiennes ont très tôt mis en place des péages urbains : Bergen (1986), Oslo (1990) et Trondheim (1991). En 2021, le pays disposait de plus de 300 péages prenant des formes diverses (routiers, urbains). Les principaux péages urbains (Oslo, Bergen, Stavanger,

⁷⁷⁹ The Norwegian tax administration, [One-off registration tax](#).

⁷⁸⁰ The Norway Guide (2023), "[Tax And Fees On Electric Vehicles In Norway Explained: Are They Really Tax Free?](#)"

⁷⁸¹ The Norwegian tax administration, "[Annual motor vehicle tax and weight-based motor vehicle tax](#)".

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Kristiansand et Trondheim) ont été mis en œuvre pour financer l'entretien de la voirie et des nouvelles infrastructures routières urbaines⁷⁸². Ils évoluent néanmoins progressivement vers une logique de tarification et de réduction des externalités du secteur routier (congestion, pollution de l'air, bruit etc.) avec des tarifs modulés en fonction du poids, des caractéristiques environnementales des véhicules et du niveau de congestion. À titre d'exemple, en 2023 un véhicule électrique doit payer 0,82 € par passage à Bergen en heures creuses contre 4,37 € pour un véhicule diesel en heure de pointe. La fin de l'exemption des frais de péage et du stationnement gratuit en ville pour les véhicules électriques en 2017⁷⁸³ va aussi dans ce sens.

14.2.3.2 Suède

Derrière la Norvège, l'électrification du parc automobile en Suède est également élevée, grâce à une tarification du carbone élevée et d'autres avantages fiscaux sur l'acquisition et la propriété de véhicule électrique⁷⁸⁴. Les véhicules électriques représentaient environ 10 % du parc automobile en 2022, avec une part de marché de 54 % dans les ventes de nouveaux véhicules⁷⁸⁵. L'approche choisie par la Suède combine taxation modérée des véhicules émetteurs, dépenses fiscales puis subvention des véhicules électriques et taxation carbone élevée des carburants routiers :

- **Fiscalité à l'acquisition** : en 2009, la Suède a mis en place un crédit d'impôt d'environ 900 € à l'achat d'un véhicule électrique, remplacé de 2012 à 2018 par un bonus à l'achat⁷⁸⁶. En 2016, il était d'environ 3 500 € pour l'achat d'une voiture électrique à batterie⁷⁸⁷. Depuis 2018, ce système a été remplacé par un bonus-malus : l'achat de véhicules électriques donne droit à une subvention allant jusqu'à 5 810 € alors que les nouveaux véhicules thermiques sont soumis à une hausse de la taxe annuelle de circulation pendant trois ans⁷⁸⁸. La Suède se distingue des autres pays scandinaves par l'absence de taxe d'immatriculation depuis 1996.
- **Fiscalité à la propriété** : de 2009 à 2018, les véhicules électriques bénéficiaient d'une exemption de la taxe annuelle de circulation pendant les cinq premières années, soit une économie d'environ 300 €/an⁷⁸⁹. Les fournisseurs d'assurance automobile sont également soumis à une taxe de 32 % sur les primes d'assurance perçues, qu'ils semblent répercuter sur les automobilistes⁷⁹⁰.
- **Fiscalité énergétique** : la Suède a mis en place dès 1991 une tarification du carbone pour le secteur routier, qui est de 120 €/tCO₂ en 2023.

En Suède, l'érosion des recettes fiscales du secteur routier observée depuis 2010 vient principalement de la diminution des recettes de taxes sur l'essence. Les recettes de taxes sur l'essence (y compris de taxe carbone) sont passées de 0,7 % à 0,3 % du PIB entre 2010 et 2022, en partie sous l'effet de l'électrification progressive du parc. En dehors des taxes sur les carburants, les recettes sont stables en proportion du PIB depuis 2010 à hauteur de 0,4 % du PIB. La légère

⁷⁸² Gostner C. (2018), "[Péages urbains : quels enseignements tirer des expériences étrangères ?](#)", Trésor-Éco n°224, Direction Générale du Trésor.

⁷⁸³ Norwegian EV association, Norwegian EV policy.

⁷⁸⁴ L'électrification n'est que l'un des leviers de décarbonation des transports, la Suède ayant aussi beaucoup misé sur le verdissement des carburants routiers traditionnels, avec une obligation de la réduction de leur empreinte carbone via la pénétration des biocarburants.

⁷⁸⁵ AIE (2023), "[Global EV Data Explorer](#)".

⁷⁸⁶ Swedish environmental agency (2021), "[Towards zero emissions from Swedish transport](#)".

⁷⁸⁷ Emma Engström, Staffan Algers, Muriel Beser Hugosson (2019), "[The choice of new private and benefit cars vs. climate and transportation policy in Sweden](#)".

⁷⁸⁸ Lasse Fridstrom, Niels Buus Kristensen, Gunnar Lindberg (2021), "[Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO₂ mitigation effects](#)".

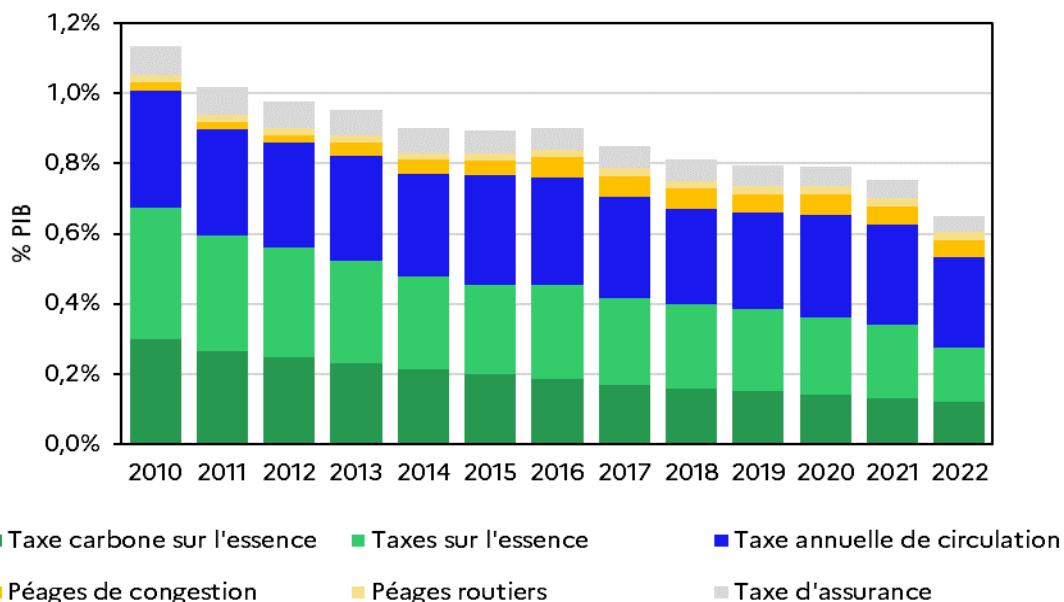
⁷⁸⁹ Emma Engström, Staffan Algers, Muriel Beser Hugosson (2019), "[The choice of new private and benefit cars vs. climate and transportation policy in Sweden](#)".

⁷⁹⁰ Lasse Fridstrom, Niels Buus Kristensen, Gunnar Lindberg (2021), "[Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO₂ mitigation effects](#)".

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

diminution des recettes de taxe annuelle de circulation a été compensée par la montée en puissance des péages de congestion.

GRAPHIQUE 6
Recettes fiscales en provenance du secteur routier en Suède de 2010 à 2022



Source : Statistics Sweden pour les données de PIB et toutes les recettes sauf celles de taxe sur l'essence ; Swedish National Financial Management Authority pour les recettes de taxes sur l'essence (taxe carbone comprise)

Note : il s'agit de l'ensemble des recettes fiscales issues du secteur routier (pas uniquement des véhicules automobiles). Les taxes sur l'essence n'incluent pas la TVA et excluent le diesel.

La Suède est récemment revenue sur certains avantages fiscaux accordés aux véhicules électriques. Face à l'érosion des recettes fiscales traditionnelles, la Suède a réformé certains dispositifs fiscaux incitant à l'adoption de véhicules électriques :

- Fiscalité à l'acquisition : fin 2022, la Suède a mis fin au bonus à l'achat des véhicules électriques tout en maintenant le malus sur les véhicules thermiques. Le gouvernement a justifié cette décision par la baisse du coût total d'usage des véhicules électriques, se rapprochant de celui des véhicules thermiques⁷⁹¹.
- Fiscalité à la propriété : depuis 2018, les nouveaux véhicules électriques doivent payer la taxe annuelle de circulation dès la première année et les nouveaux véhicules thermiques sont soumis à une hausse de la taxe pendant trois ans.

Depuis 2006, la Suède mise sur les péages urbains pour lutter contre les externalités du secteur routier et dégager au passage de nouvelles recettes fiscales, avec une tendance vers la suppression des exemptions pour les véhicules électriques. Des péages urbains en cordon autour des centres-villes ont été mis en place à Stockholm depuis 2006 et à Göteborg depuis 2013 afin de réduire le nombre de véhicules entrants et sortants des deux plus grandes villes du pays. Ces péages ont eu des effets positifs significatifs sur la congestion et la qualité de l'air : en 2016, par rapport à 2004, à Stockholm, le nombre de passages de véhicules a été 40 % plus faible et les particules fines ont été réduites de moitié. En 2021, les péages ont généré 285 M€ de recettes fiscales. Versées au budget général, ces dernières sont fléchées vers le développement de transports en commun et d'infrastructures de transport. À Stockholm, le montant est modulé en fonction de l'heure et la saison pour lutter contre la congestion. En saison basse entre 18h30 et 6h, le montant est nul ; en saison haute entre 7h et 8h30, il est de 4,50 €. À Stockholm, les

⁷⁹¹ Direction suédoise des transports, "[Bonus - low emission vehicles has ended](#)".

véhicules électriques doivent depuis 2012 s'acquitter de frais de péage comme les autres véhicules après en avoir été exempté⁷⁹².

Un rapport de 2021 de l'agence environnementale suédoise ⁷⁹³ **présente des perspectives d'évolution souhaitable de la tarification routière et préconise le déploiement d'une tarification kilométrique à horizon 2030.** L'agence préconise une modulation plus fine de la tarification routière en fonction des externalités (en particulier géographique) et une anticipation de la perte de recettes fiscales provoquée par l'électrification du parc automobile. Un système automatisé de tarification kilométrique à modulation fine par GPS⁷⁹⁴ pourrait être mis en place à horizon 2030 pour faire face à ces deux défis. En attendant, elle propose de renforcer la tarification du stationnement et le renforcement des péages urbains (extension à d'autres villes, modulation de la tarification) pour accélérer la décarbonation du secteur routier sans freiner l'électrification.

14.2.3.3 Danemark

L'électrification du parc automobile est également élevée au Danemark, derrière la Norvège et la Suède, grâce à une politique de soutien à l'électrification s'appuyant principalement sur les taxes à l'acquisition et à la propriété. Près de 8 % du parc automobile était électrifié au Danemark en 2022, le plaçant juste derrière ses deux voisins scandinaves. La part de marché des véhicules électriques dans les nouvelles ventes atteignait 40 % la même année⁷⁹⁵. Le pays se caractérise par une fiscalité à l'achat et à la propriété encore plus élevée qu'en Norvège, mais moins différenciée selon le facteur d'émissions des véhicules :

- **Fiscalité à l'acquisition** : la taxe d'immatriculation danoise est depuis longtemps modulée selon le prix d'achat, certaines caractéristiques environnementales (motorisation, efficacité énergétique) et le niveau de sécurité des véhicules (nombre d'airbags). En 2018, elle était de 12 000 € en moyenne et elle pouvait atteindre des montants bien plus élevés pour les véhicules thermiques les plus coûteux et énergivores. Jusqu'en 2015, les véhicules électriques en étaient complètement exemptés, avec une volonté politique de revenir graduellement sur l'exemption depuis cette date (cf. *infra*). Depuis 2021, la taxe d'immatriculation est explicitement modulée en fonction du facteur d'émission du véhicule.
- **Fiscalité à la propriété** : les véhicules motorisés sont soumis à une taxe annuelle de propriété qui dépend de leur date d'immatriculation et de leur performance environnementale^{796,797} : une taxe annuelle sur le poids, pour les voitures immatriculées avant 1997 ; une taxe verte de propriété pour les voitures immatriculées entre 1997 et 2021, modulée selon l'efficacité énergétique du véhicule ; une taxe CO₂ pour celles immatriculées après 2021 modulée selon le facteur d'émission du véhicule.
- **Fiscalité énergétique** : le pays a mis en place une exemption de taxes sur l'électricité pour les particuliers à hauteur de 0,12 €/kWh⁷⁹⁸. La taxe carbone sur les carburants routiers s'élève à 25 €/tCO₂éq en 2022, à un niveau bien plus faible que les autres pays scandinaves.

Ces changements de barèmes et l'électrification ont eu pour conséquence de diminuer les recettes de taxe d'immatriculation et de taxe annuelle de propriété. Les recettes d'accise sur l'essence diminuent également depuis 2010. Les recettes de taxe d'immatriculation, en légère

⁷⁹² Lasse Fridstrom, Niels Buus Kristensen, Gunnar Lindberg (2021), "[Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO2 mitigation effects](#)"

⁷⁹³ Swedish environmental agency (2021), "[Towards zero emissions from Swedish transport](#)"

⁷⁹⁴ Sustainable horizons in future transport (2019), "[How to reform taxation of road transports for promoting electrification](#)".

⁷⁹⁵ AIE (2023), [Global EV Data Explorer](#).

⁷⁹⁶ The motor vehicle agency, [Periodic taxes](#).

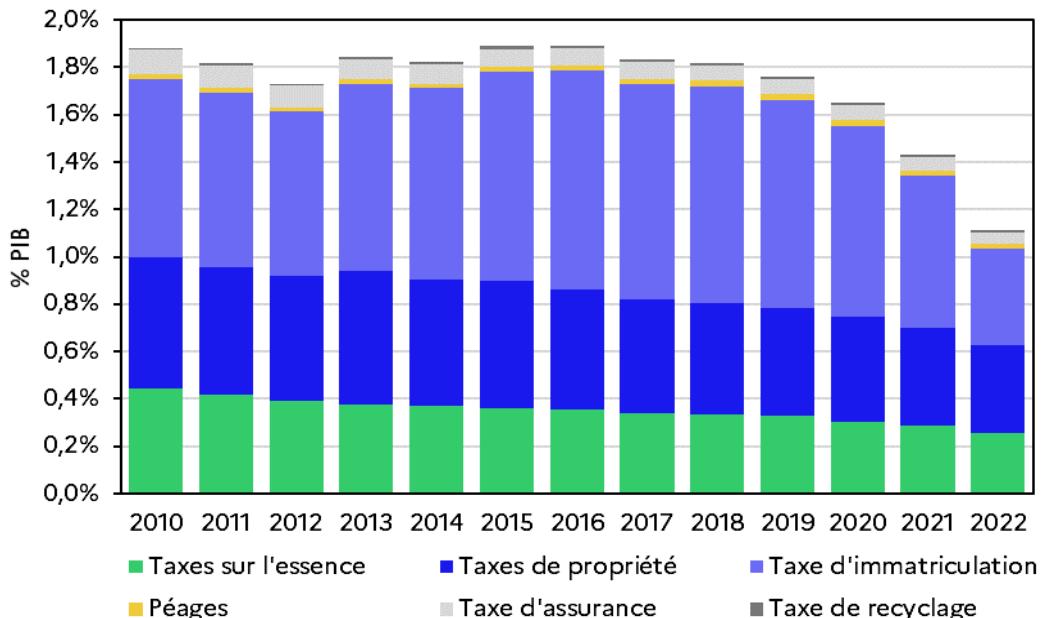
⁷⁹⁷ IEA-HEV (2023), "[Annual report 2023: the electric drive ramps up](#)".

⁷⁹⁸ European Alternative Fuels Observatory, [Denmark](#).

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

augmentation jusqu'en 2018 en proportion du PIB, diminuent fortement depuis 2019 (cf. Graphique 7). Elles sont passées de 0,9 % à 0,4 % du PIB sur cette période. Les recettes de taxe annuelle de propriété diminuent de façon plus progressive depuis 2010 au fur et à mesure que la performance environnementale des véhicules s'améliore. Enfin, les recettes de taxe sur l'essence sont passées de 0,4 % à 0,3 % du PIB entre 2010 et 2022.

GRAPHIQUE 7
Recettes fiscales en provenance du secteur routier au Danemark de 2010 à 2022



Source : Statistics Denmark

Note : il s'agit des recettes issues de l'ensemble des véhicules de transport routier, pas uniquement les automobiles. Les données de recettes de taxe carbone issues spécifiquement du secteur routier sur la période 2010-2022 n'étaient pas disponibles. Les taxes sur l'essence n'incluent pas la TVA et excluent le diesel.

La fiscalité a évolué ces dernières années, dans une tentative de concilier rendement budgétaire et soutien à l'électrification, en priorisant le second depuis quelques années.

- Fiscalité à l'acquisition : En 2016, le gouvernement danois a décidé de réintroduire progressivement la taxe d'immatriculation pour les véhicules électriques à horizon 2020⁷⁹⁹. Face au risque de ralentir l'électrification du parc, il a finalement décidé de remplacer l'exemption totale par une réduction de 80 %. L'exemption a tout de même été réintroduite en 2019-2020 pour les véhicules coûtant moins de 54 000 €⁸⁰⁰. En 2021, l'harmonisation des montants de taxe d'immatriculation entre véhicules électriques et thermiques est repoussée dans le temps, avec à terme une réduction de 20 % en 2030 et nulle en 2035⁸⁰¹.
- Fiscalité à la propriété : en 2021 le gouvernement a annoncé une hausse progressive des taxes annuelles de propriété à horizon 2026, concernant principalement les véhicules thermiques mais concernant également les véhicules électriques⁸⁰².

La tarification kilométrique est actuellement peu développée au Danemark mais fait l'objet d'un intérêt politique croissant ces dernières années. Le principe d'une tarification kilométrique est

⁷⁹⁹ OCDE (2019), "[Environmental performance reviews: Denmark 2019](#)".

⁸⁰⁰ Lasse Fridstrom, Niels Buus Kristensen, Gunnar Lindberg (2021), "[Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO₂ mitigation effects](#)".

⁸⁰¹ The Danish Government Ministry of Finance (2021), "[Denmark's recovery and resilience plan - accelerating the green transition](#)".

⁸⁰² ALD Automotive (2021), "[Car taxation 2021: overview of the new taxation](#)".

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

mis en avant dans la stratégie résilience et transition verte du Danemark en 2021⁸⁰³. Cette même année, le conseil économique danois a réalisé une étude prospective⁸⁰⁴ sur les implications d'une réduction des taxes forfaitaires d'immatriculation et de possession en parallèle de l'introduction d'un système de tarification à la distance modulée en fonction de la congestion, des dommages sanitaires (pollution de l'air, bruit, accidentalité) et de l'abrasion des infrastructures. Le rapport met en avant les nombreux avantages d'un tel système : il serait plus efficace pour lutter contre les diverses externalités du secteur routier, plus juste d'un point de vue social et rapporterait davantage de recettes fiscales. Il met en avant le caractère distorsif des taxes forfaitaires actuelles à l'achat et de propriété, qui pénalisent les ménages de la même façon indépendamment des externalités générées par l'utilisation de leur véhicule. En 2022, le gouvernement a lancé un partenariat public-privé pour expérimenter un système de tarification kilométrique⁸⁰⁵. En parallèle, il a fait passer une loi en 2023 prévoyant la mise en place en 2025 d'une taxe kilométrique sur les poids lourds sur certaines routes, modulée en fonction des émissions de GES des véhicules⁸⁰⁶.

14.2.3.4 Autres pays

La tarification kilométrique modulée en fonction des externalités, déjà en vigueur pour les poids-lourds dans certains pays d'Europe, gagne aussi du terrain en dehors des pays scandinaves :

- L'Allemagne pratique la tarification kilométrique des poids-lourds par GPS depuis 2005 pour financer et entretenir les infrastructures routières tout en réduisant les externalités. Le système MAUT de péage par GPS avec boîtiers embarqués fut initialement mise en œuvre pour financer l'entretien et la construction des infrastructures routières, mais elle contient aussi une dimension incitative, avec des taux différenciés selon le poids et les émissions de GES des véhicules. À compter de décembre 2023, le péage devrait être complété par une taxe sur les émissions de CO₂ à hauteur de 200 €/tCO₂. En juillet 2024, il devrait être étendu aux véhicules de plus de 3,5 T, contre 7,5 T aujourd'hui. Jusqu'à fin 2025, les poids-lourds zéro-émissions devraient être exemptés du péage dans son ensemble (tarif par kilomètre et taxe CO₂).
- La réforme de l'Eurovignette devrait généraliser la modulation des tarifs de péage routier selon les émissions de GES pour les véhicules utilitaires lourds. En Europe, la directive Eurovignette définit les règles applicables aux péages mis en place par les États-membres sur les grands axes routiers européens. Une révision récente en 2022 impose de moduler les péages kilométriques existants en fonction des émissions de GES et de la pollution de l'air à horizon 2026 pour les véhicules utilitaires lourds. Les péages qui tarifent actuellement en fonction du temps de trajet devront être convertis en péages kilométriques à horizon 2032 au plus tard et modulés en fonction de la performance environnementale du véhicule également⁸⁰⁷.
- Les Pays-Bas envisagent la tarification kilométrique des véhicules privés pour assurer la neutralité budgétaire du passage à l'électrique. En 2022, le gouvernement a présenté un projet de tarification kilométrique pour les véhicules particuliers en parallèle d'une suppression des taxes annuelles de propriété sur les véhicules à horizon 2030. L'objectif de cette réforme est principalement de s'adapter à la perte progressive de recettes de l'accise sur les carburants routiers et d'assurer un impact budgétaire nul de l'électrification du parc automobile. Ce nouveau système fonctionnerait à l'aide d'une collecte automatisée des données kilométriques des véhicules privés. Le gouvernement

⁸⁰³ The Danish Government Ministry of Finance (2021), "[Denmark's recovery and resilience plan - accelerating the green transition](#)".

⁸⁰⁴ Danish Economic Council (2021), "[Economy and environment 2021](#)"

⁸⁰⁵ Sund&Baelt, DTU, [About the trial](#).

⁸⁰⁶ Sund&Baelt (2022), "[Kilometer-based toll for trucks](#)".

⁸⁰⁷ Transport et Environment (2022), "[Tolling: the highway to green trucking](#)".

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

évalue la faisabilité d'une différenciation de la tarification selon le poids, le type de carburant et les caractéristiques environnementales des véhicules.

- En 2024, l'Islande a introduit une taxe kilométrique de 4 c/vkm basée sur des relevés de compteur. Exclusivement pour les véhicules bas-carbone dans un premier temps, qui paient moins de taxes sur les carburants que les véhicules thermiques, elle devrait s'appliquer également aux véhicules thermiques à partir de 2025 en contrepartie d'une diminution des droits de l'accise sur l'essence et le diesel (une taxe carbone sur les carburants routiers serait toutefois maintenue).

Le Royaume-Uni devrait mettre fin en 2025 à l'exemption totale de taxe annuelle de propriété ('Vehicle Excise Duty') pour les véhicules électriques afin de limiter l'érosion des recettes fiscales provoquée par l'électrification du parc automobile. Face à la pénétration croissante des véhicules électriques dans le parc automobile et l'érosion des recettes d'accise sur les carburants fossiles qu'elle risque de provoquer⁸⁰⁸, le Royaume-Uni a prévu de mettre fin à l'exemption totale de taxe annuelle de propriété pour l'ensemble des véhicules bas-carbone (automobiles, camionnettes et deux-roues) en avril 2025⁸⁰⁹. Certains think-tanks comme la Resolution Foundation proposent de déployer une tarification à la distance automatisée par GPS pour faire face à l'érosion des recettes de fiscalité énergétique et réduire les externalités du secteur routier⁸¹⁰.

TABLEAU 1
Résumé des externalités liées aux véhicules particuliers et aux poids lourds et leur tarification (toutes motorisations confondues)

Type de véhicules		2020	2030	2040	2050
Véhicules particuliers	Taux de couverture	91%	69%	50%	50%
	Tarification marginale (c€/vkm)	7	6	3	2
	Coût externe marginal (c€/vkm)	7	8	7	4
Poids Lourds	Taux de couverture	86%	60%	51%	68%
	Tarification marginale (c€/vkm)	30	25	20	15
	Coût externe marginal (c€/vkm)	34	42	38	22
Ensemble du parc ⁸¹¹	Taux de couverture	87%	64%	49%	55%
	Tarification marginale (c€/vkm)	8	7	4	2
	Coût externe marginal (c€/vkm)	9	10	8	4

Source : Calculs DG Trésor.

⁸⁰⁸ OBR (2023), "Fiscal risks and sustainability – July 2023".

⁸⁰⁹ UK.gov. <https://www.gov.uk/government/publications/introduction-of-vehicle-excise-duty-for-zero-emission-cars-vans-and-motorcycles-from-2025/introduction-of-vehicle-excise-duty-for-zero-emission-cars-vans-and-motorcycles-from-2025>.

⁸¹⁰ Resolution Foundation (2023), "Where the rubber hits the road. Reforming vehicle taxes".

⁸¹¹ Moyenne des différents modes de transport routier pondérée par leur part dans l'ensemble des kilomètres parcourus et prenant en compte l'évolution de leur poids respectif dans la demande de transport totale à horizon 2050.

14.2.3.5 La couverture des externalités se dégraderait encore davantage dans un scénario fictif d'absence d'électrification, du fait de la valorisation croissante pour la société des émissions de GES à l'avenir

Le taux de couverture des externalités des véhicules particuliers est actuellement plus élevé pour les véhicules thermiques que pour les véhicules électriques, mais ce ne serait plus le cas à l'avenir (cf. Tableau 2). La fiscalité des carburants induit une tarification des véhicules thermiques supérieure à celle des véhicules électriques en 2020 (7 c€/vkm contre 2 c€/vkm). Néanmoins, l'externalité climatique des véhicules thermiques augmente fortement avec la VAC, passant de 2 c€/vkm en 2020 à 8 c€/vkm en 2040, et portant leur coût externe total de 8 c€/vkm en 2020 à 13 c€/vkm en 2040, alors que celui des véhicules électriques reste stable à 4 c€/vkm (correspondant principalement au coût des accidents et des infrastructures).

TABLEAU 2
Résumé des externalités et de la tarification des véhicules particuliers
en fonction de leur motorisation

Type de véhicules		2020	2030	2040	2050
Véhicules thermiques	Taux de couverture	91%	71%	49%	36%
	Tarification marginale (c€/vkm)	7	6	6	6
	Coût externe marginal (c€/vkm)	8	9	13	17
Véhicules électriques	Taux de couverture	54%	53%	51%	50%
	Tarification marginale (c€/vkm)	2	2	2	2
	Coût externe marginal (c€/vkm)	4	4	4	4

Source : Calculs DG Trésor.

14.3 Annexe du Chapitre 6 – Enjeux distributifs - Hypothèses principales des cas-types

Méthodologie

Les exemples correspondent à 6 cas-types de ménages. Ils distinguent les ménages selon leur revenu, la surface du logement, l'énergie de chauffage, leur profil de déplacement, les subventions auxquelles ils sont éligibles. Les ménages sont supposés propriétaires d'un logement classé « passoire énergétique ». Ces cas-types sont illustratifs, ils ne couvrent pas l'ensemble des situations de ménages, et il n'est pas possible de leur assigner précisément un poids dans la population.

Cas-types de ménages retenus

		1	2	3	4	5	6
Catégorie du ménage		Très modeste (D1-D4)	Très modeste (D1-D4)	Modeste (D5)	Intermédiaire (D6-D7)	Intermédiaire (D6-D7)	Supérieur (D8-D9-D10)
Logement	Surface	40m ²	90m ²	90m ²	90m ²	120m ²	120m ²
	Chauffage initial	Gaz	Gaz	Gaz	Gaz	Fioul	Gaz
	Chauffage final	Électrique	PAC	PAC	PAC	PAC	PAC
Mobilité	Km annuels	13 000	17 500	13 000	5 000	17 500	13 000
	Type de véhicule	Occasion*	Occasion	Occasion	Neuf	Neuf	Neuf

* pour ce profil, on compare l'acquisition d'une voiture électrique d'occasion avec le fait de conserver une vieille voiture thermique.

Hypothèses de prix

Ces hypothèses sont illustratives. L'évolution des prix de l'énergie à horizon 2040 est incertaine, et dépendra des politiques publiques en place. Les prix des équipements (voiture, chauffage) sont également amenés à évoluer dans les prochaines années.

Prix des énergies	Unité	2024	2030	2040
Électricité	€/MWh	274	223	230
Essence	€/L	1,7	2,0	2,6
Fioul	€/MWh	126	126	126
Gaz	€/MWh	121	111	121

Prix système de chauffage	Prix voitures	Électrique	Thermique
PAC	Peugeot 208 neuf	34 k€	20 k€
Gaz	Peugeot 2008 neuf (profils 5 et 6)	40 k€	27 k€
Fioul	Peugeot 208 occasion	16 k€	9,5 k€

Coût isolation : Moyenne calculée à partir des combinaisons de travaux permettant à des logements correspondant à nos profil-type (F ou G) d'atteindre les DPE C ou D, d'après Res-IRF 4, version du 13/03/2023. Coût d'une rénovation HT (PAC + isolation) d'environ 50 k€ pour un logement de 90m².

Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone

Taux d'actualisation : 7 %

Principales aides retenues pour le calcul :

- Bonus automobile sur les véhicules neufs : selon nos hypothèses les ménages achetant un véhicule neuf (D6-D10) bénéficient d'un montant de 4000 €. Barème en vigueur entre le 14 février 2024 et le 2 décembre 2024.
- Prime à la conversion : 5000 € pour un ménage très modeste, 1500 € pour un ménage modeste. Barème en vigueur entre le 14 février 2024 et le 2 décembre 2024.

Plus d'informations :
www.tresor.economie.gouv.fr

Direction générale du Trésor

Janvier 2025