

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Marché du travail

Rapport thématique

Carole Hentzgen
et Michaël Orand (coord.)



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Marché du travail

Rapport thématique

Coordinateurs

Carole Hentzgen et Michaël Orand (Dares)

Camille Cousin, Jérôme Lê,
Pierre Villedieu et Raphaël Janelli (Dares)
Hélène Garner et Cécile Jolly (France Stratégie)

MAI 2023

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré à l'impact du changement climatique sur le marché du travail était placé sous la direction de Carole Hentzgen et Michaël Orand (Dares), en collaboration avec Camille Cousin, Jérôme Lê, Pierre Villedieu et Raphaël Janelli (Dares) ainsi que de Hélène Garner et Cécile Jolly (France Stratégie).

Les auteurs remercient également les membres du groupe de travail pour leurs expertises et leurs remarques : Gaël Callonnec, Thomas Gaudin, Hervé Gouedard et Patrick Jolivet (Ademe) ; Benoît Campagne, Pierre-Louis Girard, Jérôme Trinh (DG Trésor) ; Frédéric Ghersi (Cired) ; Diane Baiz, Jean-Marie Bouguen, Sophie Margontier (DGEFP) ; Marie Olive-Otto (CGDD).



SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	9
Chapitre 1 – La nécessité d’appréhender les dynamiques sectorielles pour pallier les limites des analyses macroéconomiques	13
1. Au niveau agrégé, des résultats variables sur l’emploi	13
2. Les secteurs « gagnants » vs les secteurs « perdants » en termes de créations/destructions d’emplois.....	15
Chapitre 2 – Des dynamiques intrasectorielles hétérogènes et parfois massives au sein des secteurs clés de la transition	21
1. Des dynamiques intrasectorielles variées en emplois et en compétences requises	21
2. Effet du réemploi plutôt que de la fabrication neuve : le cas de l’économie circulaire	28
3. Changement de l’intensité en emploi lié à l’évolution technologique : focus sur les transports	29
3.1. Exemple de transformation d’un marché existant : l’automobile.....	30
3.2. Exemple de création de nouveaux marchés par ruissellement sur d’autres filières : le vélo	31
4. La dimension géographique des réallocations d’emplois : l’exemple de l’industrie.....	33
Chapitre 3 – Anticiper les mouvements de main-d’œuvre et accompagner les transitions	39
1. Quels métiers « gagnants » et « perdants » ?	39
2. Quels besoins en compétences et quels risques de pénurie de main-d’œuvre ?.....	42
3. Quelle attractivité pour les emplois créés ?	52

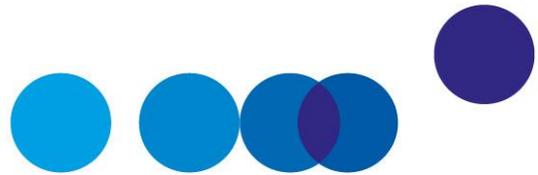
Conclusion..... 57

ANNEXES

Annexe 1 – Revue de littérature des études françaises et étrangères..... 63

Annexe 2 – Principales modélisations bouclées françaises 67

Bibliographie..... 71



SYNTHÈSE

La transition écologique va entraîner des chocs significatifs sur le marché du travail. Si la littérature économique s'est jusqu'ici plutôt concentrée sur les effets sur le niveau de l'emploi, le rythme de l'ajustement du marché du travail et l'ampleur des frictions associées ont encore été peu abordés. Pourtant, ces dimensions apparaissent au moins aussi importantes pour apprécier l'ampleur des transformations qu'il faudra accompagner au cours des prochaines décennies. Celles-ci dépendront pour beaucoup d'un ensemble de facteurs : l'importance des réallocations d'emploi, l'horizon retenu, l'évolution des compétences requises ou encore la modification de la géographie des activités. Dès lors, cette étude vise à apporter des éclairages sur ces différentes dimensions à partir des travaux existants. De fortes incertitudes demeurent néanmoins, liées notamment au scénario de la transition lui-même et aux politiques qui l'accompagneront qui affecteront les (dés)équilibres sur le marché du travail.

Les résultats des travaux recensés semblent montrer que les emplois directement impactés par la transition écologique ne représenteront qu'une part relativement limitée de l'emploi total – même si, au niveau des secteurs les plus impactés, la dynamique et les tensions associées pourront être importantes à court terme. Ces constats traduisent notamment la forte concentration des émissions de gaz à effet de serre sur quelques secteurs (comme l'agriculture, l'énergie, la construction, le transport et l'industrie) qui seront naturellement les plus impactés par la transition. Toutefois, les effets indirects pourraient être potentiellement plus importants du fait à la fois de la concentration territoriale de certains secteurs comme l'énergie (avec des impacts négatifs sur l'ensemble des activités des territoires les accueillant) et de leur insertion dans des chaînes de valeur (avec des effets en cascade sur les sous-traitants, comme pour l'industrie ou les transports).

À moyen et long terme, les effets sur l'emploi seront en partie dépendants de notre capacité à anticiper ces effets négatifs de court terme et à accompagner la réallocation de la main-d'œuvre concernée vers des secteurs porteurs, mais également des réorientations productives qui permettront de créer de nouveaux emplois en lien avec la décarbonation de l'économie (dans l'agriculture écologique, l'industrie décarbonée, les mobilités actives et la rénovation des bâtiments notamment).

En ce qui concerne le niveau de qualification de la main-d'œuvre et une éventuelle polarisation du marché du travail entre métiers peu et très qualifiés, les scénarios étudiés suggèrent plutôt un effet limité de la transition bas carbone. Les métiers les plus en croissance seraient notamment les ouvriers qualifiés du bâtiment, qui se situent plutôt au milieu de la distribution des qualifications. Par ailleurs, dans les secteurs concernés par des destructions d'emplois, la transition écologique concernerait aussi bien des emplois d'ouvriers comme des emplois d'ingénieurs et cadres, comme dans l'industrie ou les transports. Les créations d'emplois concerneraient également toute l'échelle des qualifications, voire impliqueraient une montée des qualifications (comme dans la valorisation des déchets). En matière de compétences, les tensions dépendront en grande partie de la capacité à anticiper les besoins liés à la transition écologique : si certaines compétences fortement mobilisées dans les activités carbonées auront du mal à être réemployées dans d'autres activités (par exemple dans le transport aérien, voir l'étude réalisée par le cabinet Secafi¹), d'autres pourraient être réutilisées relativement facilement dans des activités moins émettrices (par exemple dans l'énergie où certaines compétences dans les secteurs pétroliers et gaziers pourraient basculer vers des métiers dans le renouvelable ou dans les mobilités décarbonées). Dans le secteur du bâtiment, déjà en forte tension, l'adaptation de la formation des travailleurs aux compétences nécessaires pour la rénovation des bâtiments permettrait à la fois de répondre aux besoins croissants du secteur conformément aux objectifs de la Stratégie nationale bas-carbone et d'offrir des opportunités aux travailleurs en place.

La dimension géographique des réallocations mérite une attention particulière dans la mesure où une partie des métiers qui bénéficieront de la transition rencontrent déjà actuellement des difficultés de recrutement pour partie liées à une inadéquation géographique entre offre et demande de travail. Les évolutions de la répartition des activités sur le territoire dans le cadre de la transition seront *a priori* assez différentes suivant les secteurs concernés. Si les exemples étrangers suggèrent que le développement d'activités de réassemblage permettrait de maintenir ou de développer des emplois dans quelques bassins d'emploi industriels, certaines filières très concentrées territorialement pourraient voir leur emploi se réduire assez nettement (par exemple dans l'automobile en l'absence de gains de parts de marché importants).

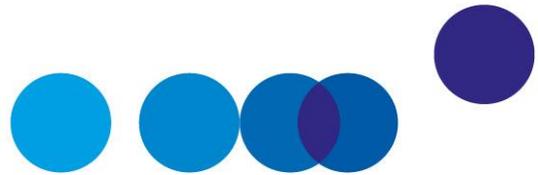
Le développement de l'économie circulaire ou des circuits courts devrait s'accompagner d'une répartition plus équilibrée territorialement des emplois, de même que la croissance de l'agroécologie. Les créations d'emplois dans le bâtiment ou la rénovation devraient également être relativement réparties sur le territoire en lien avec le bâti existant. D'une manière générale, les trajectoires qui reposeraient davantage sur la sobriété semblent

¹ Secafi (2021), *Étude prospective sur l'évolution de l'emploi dans le secteur aéronautique et l'aérien en France*, rapport réalisé pour le compte du Réseau Action Climat et de Transport & Environment, septembre.

devoir conduire à une répartition géographique un peu plus équitable que ceux reposant davantage sur des options technologiques pour lesquels les facteurs d'agglomération resteraient encore largement à l'œuvre, comme l'illustrent les quatre scénarios de l'Ademe.

Enfin, la transition pourrait contribuer à assez court terme à accroître les tensions de recrutement sur des métiers qui en connaissent déjà (ouvriers du travail du bois, personnels d'étude et de recherche, techniciens, agents de maîtrise et cadres du bâtiment et des travaux publics, etc.), notamment du fait de conditions d'emploi de mauvaise qualité.

Au total, la transition écologique devrait donc, sans bouleversement majeur, augmenter les besoins de réallocations entre métiers et renforcer les difficultés existantes sur le marché du travail en raison de l'inadéquation entre demande et offre pour certains métiers (par exemple en termes de qualification), des besoins de mobilité professionnelle et géographique ou encore de l'attractivité insuffisante de certains métiers. En conséquence, les politiques publiques devront donc être adaptées pour répondre à ces nouveaux enjeux, principalement dans leur volet anticipation des mutations et accompagnement des travailleurs, pour s'assurer que les objectifs de transition écologique aillent de pair avec développement de l'emploi (de qualité).



INTRODUCTION

Quelle que soit la façon dont on l'envisage, la transition écologique aura des conséquences sur nos modes de production, sur la nature de cette production et sur notre consommation. Cela pourrait passer par exemple par le développement de nouvelles filières, par la réduction de celles actuellement fortement émettrices de gaz à effet de serre (GES), ou encore par l'adoption progressive d'évolutions technologiques déjà présentes (ou à inventer) pour réduire les empreintes environnementales des modes de production et de consommation. Toutes ces transformations auront des effets sur le marché du travail, sur l'emploi et sur sa structure.

Une première approche pour estimer les transformations du marché du travail dans le cadre de la transition écologique passe par des modèles sectoriels : en identifiant les secteurs gagnants et les secteurs perdants, il est possible d'avoir un aperçu des créations et destructions d'emplois attendues. Celles-ci seront naturellement dépendantes des hypothèses retenues par les modèles et des trajectoires envisagés pour la transition : changements de comportement individuels, investissements publics ou innovations technologiques.

Les résultats des modèles macrosectoriels permettent d'estimer des effets globaux sur le niveau total d'emploi, ainsi que les réallocations à attendre entre les différents secteurs à un horizon donné. Compte tenu de leur niveau de désagrégation sectorielle, ils ne sont toutefois pas suffisants pour analyser l'ensemble des transformations auxquelles on peut s'attendre, puisqu'une partie de celles-ci peuvent s'opérer à un niveau relativement plus fin, au sein même des secteurs les plus concernés par la transition : transports, énergie, bâtiment, agriculture ou industrie notamment. Les innovations technologiques, par exemple, peuvent modifier la structure d'une filière (report modal dans les transports), changer l'intensité en emploi de la production (passage à la voiture électrique), voire faire évoluer les tâches effectuées pour un même métier dans le temps (comme la prise en compte des enjeux énergétiques dans la construction). Il convient donc de compléter les analyses macrosectorielles par des approches davantage monographiques, même si ces dernières ne permettent pas d'avoir un panorama exhaustif des réallocations puisque ce sont aussi les relations entre secteurs qui seront affectées par la transition (réduction ou accroissement des services associés à l'usage d'un bien, avec notamment le développement de l'économie circulaire).

Dans tous les cas, il s'agit donc ici de dépasser l'enjeu des seuls métiers directement concernés par la transition écologique, c'est-à-dire des métiers dits « verts » pour ceux qui

ont une forte composante écologique et des métiers dits « bruns » (ou « gris ») pour ceux qui sont à forte intensité polluante. Ces métiers sont naturellement ceux qui seront concernés en premier lieu par la transition puisqu'ils seraient amenés à se développer ou à se réduire. Néanmoins, les transformations en jeu auront des effets bien plus larges. Il faut s'attendre ainsi à des effets d'entraînement plus ou moins directs sur le reste de l'économie, via la transformation des productions intermédiaires, le développement de nouveaux services ou de nouveaux usages.

Les emplois « verts » et « bruns » représentent ainsi une part assez faible de l'emploi selon les estimations actuelles. Le service des données et études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique estime le nombre d'emplois dans les métiers « verts » (entretien, assainissement, distribution d'énergie et d'eau, traitement des déchets) à 140 000 emplois, soit 0,5 % des emplois en 2018 (SDES, 2021¹). L'emploi potentiellement concerné est un peu plus important quand on étend l'analyse aux emplois « verdissants », c'est-à-dire les emplois dont les compétences évoluent pour s'adapter aux enjeux environnementaux (les métiers verdissants représenteraient près de 3,8 millions d'emplois en 2018, soit 14 % de l'emploi, principalement dans le bâtiment, les transports ou la conception/maintenance industrielle).

Au niveau sectoriel, on constate également que les secteurs les plus émetteurs de GES représentent une part limitée de l'emploi. En considérant le seul CO₂, sept secteurs concentrent plus de la moitié des émissions mais moins de 3 % de l'emploi (Graphique 1) : cokéfaction et raffinage, transport aérien et par eau, industries de la métallurgie, des minéraux non métalliques et de la chimie et énergie. Le constat est proche si l'on prend en compte l'ensemble des GES, avec une présence plus importante de l'agriculture, secteur pour lequel la majeure partie des émissions concerne des gaz hors CO₂.

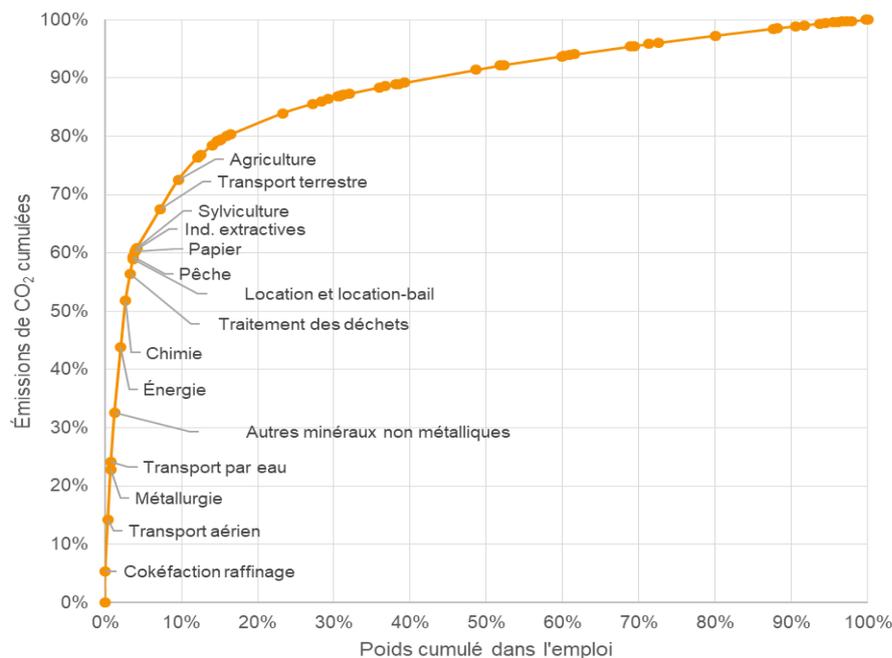
Au niveau international, le FMI (2022)² établit également des mesures de l'intensité écologique et de l'intensité de pollution des emplois par profession, qui confirment le poids relativement faible des tâches qui seront directement affectées par la transition écologique. Il estime que, sur un échantillon de pays développés, l'intensité écologique moyenne des professions, pondérée par l'emploi, se situe entre 2 % et 3 %, tandis que la part moyenne des tâches polluantes par rapport à la totalité des tâches se situe entre 2 % et 6 %. L'intensité écologique par profession reste donc en moyenne faible. Le FMI note par ailleurs que seulement 1 % environ de la main-d'œuvre des pays avancés sera réallouée vers des emplois à plus faibles intensités d'émissions d'ici 2030.

¹ SDES (2021), « [Métiers verts et verdissants : près de 4 millions de professionnels en 2018](#) », article de S. Margotier, mis en ligne le 20 décembre.

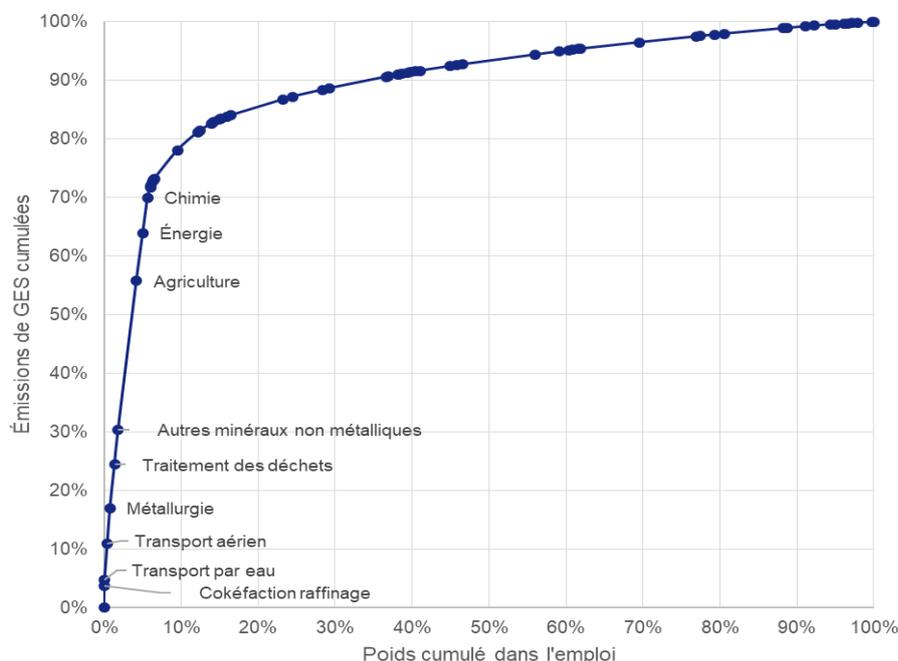
² FMI (2022), [Perspectives de l'économie mondiale](#), chapitre 3 « Un marché du travail plus vert : emploi, politiques et transformation économique », Fonds monétaire international, avril.

Graphique 1 – Répartition sectorielle des émissions de gaz à effet de serre et de l'emploi

a/ CO₂ uniquement



b/ Tous les GES



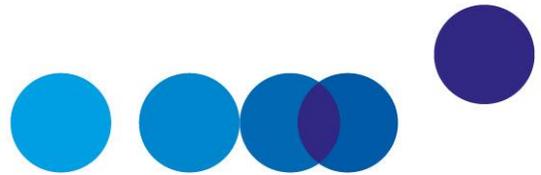
Note : les secteurs sont classés par ordre croissant d'émissions de gaz à effet de serre par emploi.

Lecture : en 2019 en France, le secteur de la cokéfaction et du raffinage représente moins de 0,1 % de l'emploi et 5,4 % des émissions de CO₂ (3,8 % des émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre).

Sources : pour les émissions, comptes annuels des émissions de gaz à effet de serre, Eurostat ; pour l'emploi, Labour Force Survey, Eurostat

Au-delà de l'identification des réallocations sectorielles, l'enjeu de ce rapport est également d'apporter des éclairages sur les difficultés que pourraient poser ces réallocations. Ce travail cherche en particulier à identifier des barrières possibles à ces réallocations. Les métiers les plus concernés par des créations d'emplois induites par la transition peuvent en effet être des métiers peu attractifs, de par leurs conditions de travail ou leur niveau de rémunération. Il s'agit donc de s'interroger sur les modalités de transition, d'accompagnement des mouvements de main-d'œuvre et de développement des compétences dans ce cadre. Sur ce point, le rythme auquel est mise en œuvre la transition est un facteur important : une même cible de réallocation d'emplois à l'horizon 2030 ou 2050 ne peut s'envisager de la même façon. Une transition d'ampleur et rapide sera plus compliquée à mettre en œuvre dans la mesure où elle devrait s'accompagner de davantage de pertes en capital humain spécifique aux métiers en déclin et d'un besoin de reconversion plus important de personnes déjà actives sur le marché du travail. Les évolutions sur les qualifications requises par la transition écologique sont donc naturellement structurantes pour éclairer le potentiel de réallocation de la main-d'œuvre. Les inadéquations géographiques entre destructions et créations d'emplois sont également un facteur de complexité à prendre en compte dans le cadre de la transition. Enfin, au-delà des réallocations entre différents emplois, la dynamique générale du marché du travail peut aussi entraîner des fictions supplémentaires, les réallocations étant d'autant plus fortes que le besoin de création d'emplois est important.

Pour éclairer ces questions, le présent rapport vise à rassembler les résultats et les limites des principales modélisations macrosectorielles (Chapitre 1), à compléter ces dernières avec des analyses ciblées sur plusieurs secteurs clés de la transition écologique – agriculture, énergie, construction et transport – afin d'anticiper au mieux les dynamiques intrasectorielles (Chapitre 2) et à formuler des recommandations en vue d'accompagner les transitions, les mouvements de main-d'œuvre et les besoins en compétences (Chapitre 3).



CHAPITRE 1

LA NÉCESSITÉ D'APPRÉHENDER LES DYNAMIQUES SECTORIELLES POUR PALLIER LES LIMITES DES ANALYSES MACROÉCONOMIQUES

Les modèles macroéconomiques visant à évaluer les effets des politiques environnementales mettent en avant des effets variables sur l'emploi, parfois non négligeables. Ces modèles n'intègrent toutefois que partiellement la question des réallocations et les risques de frictions associés à la transition écologique.

1. Au niveau agrégé, des résultats variables sur l'emploi¹

Les frictions sur le marché du travail induites par la transition écologique sont plutôt de nature intersectorielle (réallocation) ou intrasectorielle (changement d'intensité en main-d'œuvre lié aux innovations technologiques, transformation des tâches). L'évolution du niveau d'emploi agrégé donne toutefois un contexte important à ces frictions, qu'il convient de poser. En effet, les réallocations intersectorielles doivent être envisagées différemment selon qu'il y ait un besoin global de création d'emplois par ailleurs ou si, au contraire, des destructions nettes d'emploi sont attendues dans le cadre de la transition écologique.

La majorité des études internationales sur la transition écologique tendent à conclure à des effets agrégés sur l'emploi hétérogènes et concentrés dans certains secteurs (voir [annexe 1](#)). Par exemple, Yamazaki (2017)² examine l'impact sur l'emploi de la taxe sur le carbone mise en place en 2008 en Colombie-Britannique (province du Canada) et trouve

¹ Cette partie est présentée sous un format volontairement synthétique car les effets de la transition écologique sur l'emploi sont très dépendants du bouclage macroéconomique retenu. Cet aspect est davantage développé dans d'autres rapports thématiques issus de la mission présidée par Jean Pisani-Ferry.

² Yamazaki A. (2017), « [Jobs and climate policy: evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 83, mai, p. 197-216.

que, bien que toutes les industries semblent avoir bénéficié des recettes fiscales redistribuées, les industries les plus intensives en carbone ont vu leur emploi chuter avec la taxe, tandis que l'emploi a augmenté dans les industries « propres ». Au niveau agrégé, la taxe sur le carbone de la Colombie-Britannique aurait généré, en moyenne, une augmentation annuelle faible mais statistiquement significative de 0,74 % de l'emploi au cours de la période 2007-2013. En Europe, les travaux de McKinsey & Company (2021)¹ aboutissent à la création nette de 2,2 millions d'emplois d'ici 2030 pour l'ensemble de l'Union européenne dans un scénario où ses émissions nettes de GES seraient réduites de 55 % en 2030 par rapport à leur niveau de 1990, et à près de 5 millions nouveaux emplois créés d'ici 2050 avec l'atteinte de la trajectoire de neutralité carbone. Ce scénario prévoit ainsi un accroissement de 2,5 % de l'emploi au sein de l'UE-27 à l'horizon 2050. À l'inverse, la plupart des résultats obtenus par Hafstead *et al.* (2022)² au sein d'un modèle de plein emploi suggèrent que la mise en place de taxes carbone ont des effets nets négatifs mais relativement faibles sur l'emploi.

En France, la revue de littérature d'Ouvrard (2015)³ rassemble les travaux du comité « Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone » publiés en 2012 par le Centre d'analyse stratégique (CAS). Dans le cadre de ces travaux, plusieurs modèles macroéconomiques (voir [annexe 1](#) et [annexe 2](#)) ont été utilisés pour estimer l'impact net sur l'emploi en 2030 d'une trajectoire de réduction de 75 % des émissions de CO₂ en 2050 par rapport à 1990 via l'introduction d'une taxe carbone. Les conclusions des modèles apparaissent assez hétérogènes à l'horizon de 2030. Ainsi, le modèle Nemesis simule des effets positifs, de +46 000 à +131 000 emplois, de même que ThreeME qui obtient des gains nets en termes d'emplois allant de +0,1 % jusqu'à +6,4 % à l'horizon 2030 tandis qu'Imaclim donne des résultats sur l'emploi plus modestes, voire négatifs (Ouvrard, 2015 et Ouvrard et Scapecchi, 2014⁴). En outre, le modèle Mésange permet d'évaluer l'impact d'une hausse de la taxe carbone équivalente à un point de PIB, conduisant à une baisse de l'emploi de l'ordre de 50 000 emplois à long terme, en l'absence de redistribution des recettes fiscales supplémentaires.

¹ McKinsey & Company (2021), « [Réussir la transition de l'Europe vers la neutralité carbone. L'objectif « net-zéro », un enjeu exigeant mais atteignable](#) », juillet.

² Hafstead M. A. C., Robertson C. W. et Yunguang C. (2022), « Environmental policy, full-employment models, and employment: a critical analysis », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 9(2), mars, p. 199-234.

³ Ouvrard J.-F. (2015), « [L'analyse macroéconomique de la transition énergétique : difficile mais indispensable](#) », *Revue d'économie financière*, n° 117, p. 63-73.

⁴ Ouvrard J.-F. et Scapecchi P. (2014), « [Une grille d'analyse des évaluations des impacts macroéconomiques de la transition énergétique](#) », Coe-Rexecode, document de travail n° 48, mai.

En dehors des simulations réalisées à partir de l'introduction d'une taxe carbone, d'autres modélisations bouclées existent en France à l'horizon 2030 (SNBC¹, Métiers 2030², NegaWatt³, voir [annexe 1](#) et [annexe 2](#)). Les impacts estimés sont plutôt modestes, avec néanmoins des résultats plus marqués sur l'emploi dans les scénarios les plus allants : la transition écologique permettrait de créer à l'horizon 2030 entre 200 000 (Métiers 2030) et 500 000 emplois supplémentaires (évaluation haute de l'impact emploi de la SNBC 2020, via ThreeME et Imacim) par rapport à un scénario sans mesure additionnelle. Des travaux non bouclés existent également, à l'instar de ceux du Shift Project, mettant en avant des effets modérés mais positifs en termes de créations nettes d'emplois (+300 000 à l'horizon 2050, avec 1,1 million créations et 800 000 destructions).

Sans certitude sur l'effet net de la transition sur l'emploi (car les modèles sont très dépendants des hypothèses, notamment en matière d'investissement et de financement de la transition), ces travaux suggèrent que si la transition peut avoir des effets modérés sur le niveau agrégé d'emploi – voire plus élevés dans certains scénarios –, cela recouvre des mouvements significatifs de création/destruction d'emplois, notamment pour certains secteurs. Une approche par secteur permet d'appréhender plus finement les conséquences de différents scénarios sur les réallocations de main-d'œuvre.

2. Les secteurs « gagnants » vs les secteurs « perdants » en termes de créations/destructions d'emplois

En premier lieu, les différents modèles s'accordent généralement sur des effets particulièrement positifs dans le secteur de la construction. Entre 100 000 et 200 000 emplois supplémentaires y seraient créés d'ici 2030 selon les modélisations de Métiers 2030, de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), de NegaWatt ou de l'Ademe (hors scénario de frugalité S1, voir Encadré 1 et [annexe 1](#) et [annexe 2](#)). Ces créations seraient portées par des investissements massifs dans la rénovation et les infrastructures, notamment de transport et d'aménagements publics. Les services marchands connaîtraient également beaucoup de créations d'emplois. Selon le rapport *Les Métiers en 2030*, dans lequel le respect de la trajectoire de la SNBC est modélisé grâce à un choc d'investissement des ménages et des entreprises, la transition écologique pourrait générer 50 000 emplois supplémentaires dans la R & D et l'ingénierie, mais aussi dans la

¹ Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020), *Stratégie nationale bas-carbone*, rapport d'accompagnement, mars.

² France Stratégie et Dares (2022), *Les Métiers en 2030. Quels métiers en 2030 ?*, rapport du groupe Prospective des métiers et qualifications, mars.

³ <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022>

maintenance des équipements (entretien des infrastructures, mobilisation de R & D en faveur de la transition, etc.).

En revanche, l'impact sur l'agriculture est plus débattu. Le scénario Métiers 2030 envisage un léger ralentissement de la destruction de l'emploi agricole à 2030 (ou 2050) en raison d'un contenu en emploi plus élevé dans l'agriculture biologique et de l'importance de l'entretien des forêts et de la biomasse dans le bilan carbone. En revanche, The Shift Project (2021a)¹ envisage des créations d'emplois très importantes, essentiellement en 2050 (+500 000 emplois à cet horizon dans le maraîchage et l'agroécologie), qui contrastent avec le déclin continu jusqu'à aujourd'hui de l'emploi agricole. Ce scénario se fonde sur une relocalisation très intense des cultures et de l'approvisionnement des industries de transformation, inversant la tendance à l'importation croissante de produits alimentaires.

Enfin, plusieurs secteurs risquent de pâtir de la transition. Les services de transports pourraient perdre près de 10 000 emplois en 2030 (selon Métiers 2030 et SNBC) en raison d'une baisse des transports routiers (fret et voyageurs) que le mode ferré ne compenserait pas. Ces pertes d'emploi pourraient être très supérieures si la mobilité des biens et des personnes se réduit fortement à la fois du fait d'une relocalisation de la production de biens et de la limitation de la consommation de transports.

Dans le scénario 2 de l'Ademe (S2), axé sur la sobriété et l'efficacité énergétique, l'emploi dans les services de transport se rétracterait bien plus nettement d'ici 2030. Dans le scénario NégaWatt, les services de transport pourraient perdre plus de 100 000 emplois par rapport à une trajectoire à mesures existantes, en raison d'une évolution vers des mobilités plus sobres en carbone. Dans les matériels de transports, les scénarios fondés sur la sobriété anticipent donc une baisse forte des matériels de transport, le renouvellement des matériels (véhicules électriques) ne compensant pas la moindre mobilité. *A contrario*, dans le scénario SNBC, les créations d'emplois dans l'automobile reposent sur une hypothèse de stabilité des importations de consommations intermédiaires, ce qui suppose une certaine relocalisation de la production de batteries électriques. Dans le scénario bas carbone de Métiers 2030, des hypothèses comparables mais moins favorables conduisent à limiter la destruction d'emplois dans les matériels de transport. Enfin, l'industrie intensive en carbone (chimie) et les industries énergétiques devraient pâtir de la transition. La métallurgie devrait en revanche mieux se porter en restant un fournisseur important de la construction.

¹ The Shift Project (2021a), *L'Emploi. Moteur de la transformation bas carbone*, rapport final, décembre.

Encadré 1 – Principaux mécanismes à l'œuvre dans les scénarios macrosectoriels

À l'exception du Shift Project, toutes les modélisations mentionnées *supra* ajoutent au scénario tendanciel un choc d'investissement supplémentaire, des changements de comportements, un progrès de l'innovation (en particulier au travers de l'efficacité énergétique) et des hypothèses sur la localisation des activités. Le poids accordé à ces différents mécanismes explique les différences dans les trajectoires modélisées.

En premier lieu, les scénarios SNBC et Métiers 2030 sont majoritairement tirés par **un choc d'investissement**, en particulier dans le bâtiment, les transports (véhicules électriques) et la décarbonation de l'énergie (énergies alternatives aux énergies fossiles, capture et séquestration du carbone) permettant des créations d'emplois dans ces secteurs. À ce choc s'ajoute également un changement de comportement vers des biens et des services moins carbonés, notamment en faveur de l'agriculture biologique ou des services aux ménages et aux entreprises.

Le scénario « Technologies vertes » de l'Ademe repose sur **une très forte innovation verte**, notamment par la mise en œuvre de technologies de capture et séquestration du carbone généralisée dans l'industrie, l'usage des biocarburants et de l'hydrogène décarboné ou encore l'électrification du parc automobile. Ce scénario s'appuie également sur des investissements dans la construction (via un plan de grande échelle de déconstruction et reconstruction de logements), stimulant les créations d'emplois dans le bâtiment. **L'évolution technologique** est aussi très présente dans le scénario « Pari réparateur ». Celui-ci est néanmoins plus créateur d'emplois, principalement dans le tertiaire, dans l'industrie et le BTP. Ce dynamisme s'explique par des investissements productifs « classiques » plus élevés et des investissements massifs dans la décarbonation énergétique et la capture de carbone.

Le scénario de Négawatt est fondé sur **l'efficacité énergétique**. S'il ressemble au scénario « Technologies vertes » de l'Ademe, il met toutefois davantage l'accent sur la rénovation des bâtiments qui génère des économies énergétiques pour les ménages, leur permettant d'augmenter leur consommation et de soutenir notamment les emplois indirects dans les services. Cette consommation est aussi plus sobre en carbone (en particulier dans le domaine des mobilités) et le scénario envisage une relocalisation des activités avec une préférence pour les productions nationales.

Les deux autres scénarios de l'Ademe sont davantage axés **sur les changements de comportement et la sobriété**. Le scénario « Génération frugale » envisage une forte sobriété dans les comportements, avec une rénovation massive des bâtiments (80 % du parc en bâtiments basse consommation), une réduction forte de la mobilité (-70 % de la consommation énergétique dans les transports, la moitié des trajets étant effectués à pied ou à vélo) et une réduction de l'alimentation carnée (divisée par trois). Ce scénario est de loin le moins bénéfique en termes d'emplois : l'ensemble des secteurs économiques est affecté, avec des destructions importantes dans les transports et l'agriculture. Le scénario « Coopérations territoriales » suppose une sobriété moins forte que dans le scénario précédent (division par deux et non par trois de la consommation de viande) et est très axé sur la relocalisation des activités (priorité aux circuits courts, réindustrialisation dans les territoires). À l'échelle sectorielle, beaucoup d'évolutions sont portées par de nouveaux choix de consommation du côté des ménages. Ces derniers consomment moins de biens carbonés, avec une diminution des dépenses dans l'automobile, le BTP et les produits manufacturés, au profit essentiellement des services.

La scénarisation du Shift Project est la seule qui n'envisage **aucun progrès de l'innovation**, la dépendance aux énergies fossiles étant considérée trop forte pour permettre des gains de productivité. Toutes les trajectoires sont donc fondées sur les technologies existantes, une très forte sobriété et une relocalisation quasi totale des activités.

Dans les différents scénarios, les destructions d'emplois seraient donc concentrées dans les transports et les énergies non renouvelables, et l'emploi dans ces secteurs en transition pourrait diminuer à un rythme plus rapide que ceux créés dans les nouveaux secteurs « verts ». Ceci pourrait conduire à sous-optimiser ou détruire une gamme de compétences importantes pour le tissu économique (Encadré 2) et cela rend l'anticipation et l'accompagnement de ce processus essentiel pour éviter que les travailleurs affectés ne se retrouvent au chômage.

Ces analyses macrosectorielles montrent cependant rapidement leurs limites. En particulier, la transition pourra s'accompagner d'impacts différenciés au sein même des secteurs d'activité (par exemple, pour la construction automobile, entre les motorisations électriques et thermiques).

Encadré 2 – Frictions associées à la temporalité de la transition

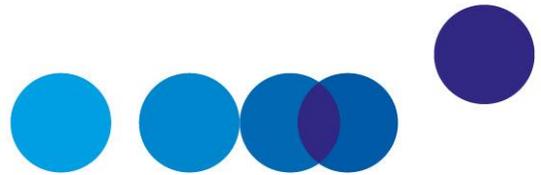
La littérature économique souligne l'importance de distinguer les effets de court terme des effets à plus long terme de la transition écologique. Walker (2013) par exemple met en évidence l'existence de coûts de transition notables liés à la réaffectation des travailleurs des industries polluantes vers d'autres secteurs plus propres de l'économie à la suite de la mise en place des Clean Air Act Amendments (CAAA) aux États-Unis en 1990. Pour Vona (2017)¹, l'augmentation du prix de l'énergie et des coûts pour l'industrie réduirait effectivement l'emploi industriel à court terme, mais le contrepoint à ce phénomène via la création d'emplois dans les nouveaux secteurs « verts » n'interviendrait qu'à plus long terme.

Le rapport du Green Jobs Taskforce (2020)² signale lui aussi les risques associés au décalage de temporalité sur les créations et destructions d'emplois de la transition écologique, notamment dans le secteur de l'énergie. Il alerte notamment sur les risques individuels pour les salariés, qui auraient des opportunités de transition moindres en cas de décalage temporel important. Une étude récente du Cepii (Arquié et Grjebine, 2023³) montre qu'il existe des risques de détérioration durable du marché du travail après des chocs importants sur le système productif liés à des capacités d'ajustement insuffisantes. Les zones d'emploi où un plan social a eu lieu entre 1997 et 2019 connaissent moins de créations d'entreprises, les emplois y sont plus précaires et le taux de chômage y est, six ans après, 12 % supérieur à celui des zones non touchées. Une intervention simultanée des politiques publiques au moment des chocs pourrait jouer ainsi un rôle prépondérant dans l'accompagnement des changements pour atténuer leur intensité à court mais aussi à long terme.

¹ Vona F. (2017), « [La transition énergétique : contrainte ou opportunité pour la croissance et l'emploi ?](#) », OFCE Policy Brief, n° 15, avril.

² Green Jobs Taskforce (2020), [Report to Government, Industry and the Skills sector](#).

³ Arquié A. et Grjebine T. (2023), « [Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?](#) », *La lettre du CEPII*, n° 435, mars.



CHAPITRE 2

DES DYNAMIQUES INTRASECTORIELLES HÉTÉROGÈNES ET PARFOIS MASSIVES AU SEIN DES SECTEURS CLÉS DE LA TRANSITION

Une analyse intrasectorielle permet d'appréhender les conséquences de la transition écologique sur l'intensité en emploi des secteurs au cœur des transformations économiques, à savoir l'agriculture, la production d'énergie, la construction, le transport et l'industrie. Tous ces secteurs seront en effet confrontés à une modification à la fois de leur contenu en emploi unitaire (combien d'ETP¹ pour produire une unité ?) et de leur contenu en emploi total (combien d'ETP pour répondre aux besoins de production ?), entraînant des réallocations de main-d'œuvre, par exemple entre le bio et le conventionnel, le thermique et l'électrique, la rénovation et la construction neuve, le fioul et l'éolien, etc. La question des compétences disponibles et de l'attractivité sera alors déterminante pour réaliser ces réallocations.

1. Des dynamiques intrasectorielles variées en emplois et en compétences requises

En premier lieu, il est possible de noter que des dynamiques diverses sur les contenus en emploi pourraient être observées au sein d'un même secteur. L'agriculture constitue un exemple éclairant (Encadré 3).

¹ Équivalent temps plein.

Encadré 3 – L'agriculture

En France, le nombre d'actifs est en diminution dans l'agriculture, notamment en lien avec la mécanisation des travaux agricoles et les gains de productivité depuis les années 1960. Dans le cadre de la transition écologique, les cultures céréalières et l'élevage intensifs en emploi pourraient pâtir d'une moindre consommation de viande (baisse de 12 % entre 2007 et 2016 d'après le Crédoc). Néanmoins, selon le modèle macroéconométrique Magali 2 du Centre d'études et de prospective (CEP), les créations d'emplois dans le secteur végétal pourraient compenser les pertes dans le secteur animal (Payen, 2020¹).

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs travaux se sont intéressés au lien entre agriculture biologique et emploi : ils concluent que l'agriculture biologique serait un mode de production plus intensif en travail que le conventionnel (OCDE, 2016 ; Forget *et al.*, 2019²). En France notamment, Massis et Hild (2016)³ comparent entre 2010 et 2013 les mêmes exploitations avant et après leur conversion à l'agriculture biologique et montrent que cette transformation s'accompagne de création d'emplois (+ 0,08 unité de travail annuel par exploitation).

Selon Forget *et al.* (2019), plusieurs facteurs peuvent être mis en avant pour expliquer cette plus grande intensité en emploi :

- les pratiques de fertilisation et de protection des cultures qui remplacent les intrants chimiques sont plus exigeantes en travail ;
- les exploitations biologiques nécessitent le développement plus important d'activités de transformation et de commercialisation en circuits courts qui sont pourvoyeuses de travail ;
- les caractéristiques propres aux exploitations s'engageant dans le bio. Massis et Hild (2016) ont noté que, même en contrôlant les effets liés à la taille et au développement des circuits courts, l'agriculture biologique reste en France plus créatrice d'emplois que l'agriculture conventionnelle.

¹ Payen A. (2020), « [Quels impacts de la baisse de la consommation de viande sur l'agriculture française ? Simulations avec le modèle MAGALI 2](#) », Centre d'études et de prospective, *Analyse*, n° 149 ; février.

² OCDE (2016), *Pratiques de gestion des exploitations agricoles favorisant la croissance verte*, Paris, Éditions de l'OCDE, coll. « Études de l'OCDE sur la croissance verte » ; Forget V., Hérault B., Depeyrot J.-N, Mahé M., Midler E., Hugonnet M. et Beaujean R. (2019), « [ActifAgri : transformations des emplois et des activités en agriculture](#) », Centre d'études et de prospective, *Analyse*, n° 145, novembre.

³ Massis D. et Hild F. (2016), « [La pratique de l'agriculture biologique créatrice d'emploi ? Une évaluation de l'impact du bio sur la quantité de travail agricole](#) », *Agreste – Les Dossiers*, n° 35, juillet.

Ainsi, comme le souligne Forget *et al.* (2019), dans l'agriculture, la relation entre les performances environnementales et l'emploi reste très conditionnée aux secteurs de production. Néanmoins, les différences de tailles d'exploitation, de localisation (plaine ou montagne) ou de mode de production ne suffisent pas à expliquer entièrement ces écarts. Une analyse économétrique contrôlant de ces effets montre que l'agriculture biologique implique, toutes choses égales par ailleurs, plus d'emplois par unité de surface (ou de bétail) que l'agriculture conventionnelle, en particulier dans les filières du bovin à destination laitière et de la viticulture (Inrae, 2020¹). En revanche, pour le maraîchage, les situations sont plus variables : lorsque la demande en emploi est importante, elle relève essentiellement d'exploitations qui pratiquent la culture de plein air.

En somme, si la dynamique globale est aujourd'hui à la baisse des actifs dans l'agriculture, plusieurs éléments pourraient se révéler favorables à l'emploi, à savoir la diversification des activités, l'usage des circuits courts, l'adaptation des filières végétales ou encore l'inscription dans des filières de qualité. Aubert *et al.* (2021)² soulignent aussi l'importance de l'accompagnement de l'offre et de la demande. En effet, en modélisant des scénarios de transition bas carbone sur deux filières clés du système alimentaire français, les grandes cultures et les bovins, les auteurs obtiennent des effets positifs sur l'emploi à l'horizon 2030 dans le scénario où sont mis en place des dispositifs ambitieux d'accompagnement de la demande vers des produits de terroirs, de saison et moins transformés, et de l'offre vers des activités de diversification.

Néanmoins, certains travaux signalent que le recours accru à l'emploi de l'agriculture biologique pourrait s'estomper au fur et à mesure que les compétences spécifiques requises par ce mode de production sont acquises par les agriculteurs (Cisilino et Madau, 2007³). En outre, tous ces effets favorables sur l'emploi se comprennent uniquement à l'échelle du secteur agricole, et ne prennent par conséquent pas en compte les effets de bords sur les autres secteurs (par exemple dans les transports, dont l'emploi pourrait se réduire du fait du développement des circuits courts).

¹ Inrae (2020), « [Pratiques agroécologiques et emploi en agriculture](#) », Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, dossier publié le 27 juillet.

² Aubert P.-M., Gardin B. et Alliot C. (2021), [Vers une transition juste des systèmes alimentaires. Enjeux et leviers politiques pour la France](#), IDDRI et BASIC, rapport, mars.

³ Cisilino F. et Madau F. A. (2007), « Organic and Conventional Farming: a Comparison Analysis through the Italian FADN », présentation au 103^e séminaire EAAE « Adding Value to the Agro-Food Supply Chain in the Future Euromediterranean Space », Barcelone, 23-25 avril 2007.

Un autre mouvement intrasectoriel à anticiper dans le cadre de la transition écologique est celui du transfert de compétences entre les anciennes filières polluantes et les nouvelles filières vertes. Des opportunités de tels transferts entre filières apparaissent dans certains secteurs, comme celui de l'énergie (Encadré 4).

Encadré 4 – L'énergie

L'énergie comprend des activités très transversales, de la production à la transformation, en passant par le transport et la distribution. Quatre grandes filières avec des dynamiques et des effectifs propres peuvent être distinguées (selon le rapport Parisot de 2019¹, à partir d'une estimation réalisée par l'Ademe) : l'électricité (140 000 emplois directs), la chaleur (47 000), les carburants (35 000) et le gaz (20 000). Chacune de ces filières contient du renouvelable et du non-renouvelable.

Des destructions d'emplois inévitables dans le non-renouvelable

Par exemple, le scénario NégaWatt (2017)² anticipe une destruction de 100 000 emplois d'ici 2030 dans les énergies non renouvelables et les réseaux, en lien avec la baisse de la consommation des produits pétroliers et de charbon. Néanmoins, au global, les effets resteraient positifs sur l'emploi : au niveau mondial, un rapport de l'IEA (2021)³ estime que l'objectif zéro émission nette de CO₂ d'ici 2050 ferait augmenter l'emploi dans l'énergie propre de 14 millions d'ici 2030, tandis que l'emploi dans l'approvisionnement en pétrole, gaz et charbon ainsi que dans les centrales électriques diminuerait d'environ 5 millions, entraînant une augmentation nette de près de 9 millions d'emplois.

Des besoins sur de nouveaux métiers

L'électricité deviendra la principale infrastructure énergétique à venir, au détriment des énergies fossiles. Selon The Shift Project (2021a)⁴, les transformations de la transition écologique seraient susceptibles d'entraîner une hausse de la consommation d'électricité d'environ 20 % d'ici 2050. Ceci implique le développement de nouveaux besoins en termes d'emploi. Parisot (2019) liste quatre grandes catégories de nouveaux métiers liés à l'énergie : le conseiller

¹ Parisot L. (2019), *Plan de programmation des emplois et des compétences. Mission de préparation*, rapport, février.

² <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2017-2050>

³ IEA (2021), *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*, Agence internationale de l'énergie, version révisée (4^e éd.), octobre.

⁴ The Shift Project (2021a), *L'Emploi. Moteur de la transformation bas carbone*, rapport final, décembre.

énergie (ou chargé de mission énergie), l'*energy manager* dont le rôle est d'optimiser les procédures pour consommer moins d'énergie sans perdre en production, l'agrégateur et l'ingénieur en génie des matériaux. Plus largement, ce même rapport note que de nouvelles compétences seront attendues :

- la transition énergétique nécessitera davantage de communication avec le consommateur et, en conséquence, la notion de « services » deviendra primordiale. L'installation des compteurs communicants Linky constitue un bon exemple puisqu'il a permis de montrer l'importance pour les techniciens installateurs de faire preuve de pédagogie en vue de favoriser son acceptation ;
- une deuxième compétence très attendue sera celle de la maîtrise de la data, en particulier chez les gestionnaires de réseau ;
- enfin, les besoins en compétences technico-juridiques grandiront sensiblement en vue d'appréhender les évolutions juridiques et d'adapter les services en conséquence.

Accompagner les transferts de compétences

Au-delà des destructions d'emplois et des nouveaux besoins de compétences communes à l'ensemble des filières de l'énergie, des possibilités de transfert de compétences inter-filières énergétiques semblent pouvoir se dessiner, notamment par des réallocations de main-d'œuvre depuis les filières de gaz et des carburants. Au Royaume-Uni, le rapport du Green Jobs Taskforce (2020)¹ estime que plus de 90 % de la main-d'œuvre pétrolière et gazière a une transférabilité de compétences « moyenne à élevée » (Energy Transition Institute, 2021²) et est par conséquent apte à travailler dans d'autres secteurs de l'énergie. Par exemple, le rapport montre qu'il existe un niveau élevé de transférabilité du pétrole et du gaz vers les projets de démantèlement et de réseau sous-marin, et une transférabilité moyenne vers l'éolien offshore, le CCUS (capture, séquestration et utilisation du CO₂) et l'hydrogène bleu (dont la production capte le CO₂). En France, selon The Shift Project (2021a), l'éolien pourrait recourir aux compétences des secteurs pétrolier et gazier dans la construction et la gestion de plateformes offshore. La filière hydrogène pourrait aussi être un moyen de reconversion pour les équipementiers du pétrole.

Le rapport de l'IEA (2021) nuance toutefois les facilités de transfert de compétences au sein du secteur de l'énergie : non seulement les emplois créés ne seraient pas nécessairement dans les mêmes domaines que ceux des emplois perdus, mais en plus les compétences requises dans les nouveaux emplois liés à l'énergie propre pourraient ne pas être directement transférables. Ceci laisse présager des impacts importants sur les emplois locaux, à la fois dans les régions très dépendantes de la production d'énergie fossile, mais aussi dans les zones où

¹ Green Jobs Taskforce (2020), *Report to Government, Industry and the Skills sector*.

² Energy Transition Institute (2021), *UK Offshore Energy Workforce Transferability Review*.

le nombre d'emplois directs dans le secteur de l'énergie est plus faible. Un soutien serait par conséquent nécessaire pour accompagner ces transitions. Par ailleurs, les potentielles facilités de transfert de compétences au sein de certains métiers de l'énergie ne s'appliqueraient pas nécessairement à tous les secteurs polluants : des analyses macroéconomiques du FMI (2022)¹ notent notamment que la probabilité de passer d'un emploi à forte intensité de pollution à un emploi à forte intensité écologique reste très faible, entre 4 % et 7 %, alors que la transition d'un emploi propre vers un autre emploi similaire est de l'ordre de 41 % à 54 %.

En conclusion, si des transferts de compétences peuvent être possibles, la qualité des reconversions dépendra pour beaucoup des investissements associés dans l'accompagnement des mobilités, par les acteurs publics et privés. En particulier, des offres de formation adaptées dans les territoires qui concentrent les emplois dans les énergies polluantes permettraient de limiter les risques de polarisation géographique. À titre d'exemple, la mutation de la raffinerie de la Mède en une bioraffinerie a permis de sauvegarder 250 emplois, évitant licenciements et mobilités géographiques contraintes. Les moyens mis en œuvre par Total ont joué un rôle important en permettant le déploiement d'offres de formation facilitant la reconversion de salariés sur le site (Parisot, 2019).

Dans d'autres secteurs néanmoins, comme le bâtiment (Encadré 5), les possibilités de transfert de compétences de la construction neuve vers la rénovation seraient plus complexes : elles seraient possibles à condition d'accompagner la montée en formation des travailleurs et d'accroître l'attractivité de ces métiers.

Encadré 5 – Le bâtiment

Tous les métiers du bâtiment seront concernés par la transition énergétique. Le secteur représente déjà un tiers des emplois verdissants. Néanmoins, face à la massification des besoins en rénovation (logements privés, logement social, tertiaire), le secteur est confronté à de nombreux enjeux.

Le premier semble être un retard relatif de certains segments dans le développement d'activités compatibles avec les attentes de la transition écologique. En particulier, une partie de l'activité de la construction neuve devra se réorienter vers la rénovation. Or, pour l'heure, seules 64 000 entreprises du

¹ FMI (2022), *Perspectives de l'économie mondiale*, chapitre 3 « Un marché du travail plus vert : emploi, politiques et transformation économique », Fonds monétaire international, avril.

bâtiment sont labellisées RGE (reconnu garant de l'environnement), soit moins de 5 %, alors qu'un objectif de 250 000 est fixé pour 2028 par le gouvernement. De plus, d'après l'enquête formation employeur (EFE, Cereq-Dares-France compétence), en 2020, seulement un quart des entreprises employeuses du BTP forment certains salariés, et parmi celles-ci, un quart déclarent que la transition écologique est parmi les domaines de formation les plus importants (en volume d'heures) dispensés dans leur entreprise. Par ailleurs, la rénovation thermique reste très dépendante des aides et des subventions publiques qui sont insuffisamment ciblées sur les gestes de rénovation les plus performants (exemple de MaPrimeRénov'). En outre, le reste à charge élevé pour les ménages en cas de rénovations globales constitue un frein important à la croissance de la demande.

Ensuite, il est attendu qu'un certain nombre de métiers du bâtiment se déploient vers des postes de cadres ou d'ingénieurs en efficacité ou rénovation énergétique, entraînant de nouveaux besoins en compétences (Parisot, 2019). Par exemple en Allemagne, le métier de conseiller en performance énergétique se développe très rapidement. En France, l'obligation de faire un diagnostic de performance énergétique (DPE) lors des ventes et locations, ainsi que celle d'audits dans les copropriétés, renforceront également les fonctions de diagnostic. Une étude de l'Apec met d'ailleurs en évidence la nette croissance des offres d'emploi dans les bureaux d'études et les sociétés de services énergétiques (ingénieur en efficacité énergétique, chargés de calculs en performance énergétique). De même, les offres pour des conducteurs de travaux en rénovation énergétique ou de technico-commercial spécialisé en aménagement durable devraient sensiblement progresser. Les besoins en volume d'emplois restent cependant difficiles à estimer et à anticiper, rendant incertaine la capacité du secteur à embaucher tous les profils souhaités.

Néanmoins, pour devenir véritablement un secteur porteur de nouveaux emplois dans le cadre de la transition écologique, le secteur du bâtiment devra répondre à de fortes attentes en termes d'innovation. Or, en France, le secteur se caractérise encore par un faible développement de la numérisation et de l'industrialisation. Il reste très segmenté, avec de nombreuses TPE-PME (96 % de moins de vingt salariés), ce qui réduit les marges de manœuvre financières pour innover et investir dans la R & D. Par ailleurs, la faible attractivité des métiers de la construction ainsi que la part importante d'activités informelles tendent à alimenter un déficit en formation et à freiner les montées en compétences.

2. L'effet du réemploi plutôt que de la fabrication neuve : le cas de l'économie circulaire

La décarbonation de l'économie va impliquer un développement sensible des nouvelles filières industrielles de l'Après-première vie (APV) ainsi que des activités de recyclage et de réparation créant un nouveau volume d'emplois. Une tentative de chiffrage de ces effets sur l'emploi et de leur dynamique peut être réalisée au regard des tendances observées sur l'économie circulaire. Selon le ministère de la Transition écologique, l'économie circulaire pousse à repenser la production « des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des déchets. Il s'agit de passer d'une société du tout jetable à un modèle économique plus circulaire¹ ». Celle-ci représente déjà 3,4 % des emplois au niveau national, essentiellement grâce aux secteurs de la réparation et du traitement des déchets (Orée, 2022²), soit près de 800 000 emplois en équivalents temps plein (Jolly et Douillard, 2016³). Elle est aussi présente dans une large palette de secteurs en mobilisant des métiers de l'automobile, du vélo, de l'agriculture bio, du bâtiment ou de l'énergie.

L'économie circulaire pourrait représenter une part significative des créations d'emplois en permettant de développer de nouvelles activités et de consolider des filières industrielles⁴. En particulier, le développement d'activités de réparation, de réutilisation ou de recyclage des produits usagés nécessiterait de l'ordre de vingt-cinq fois plus d'emplois que la destruction de ces déchets.

Les effets plus précis sur l'emploi semblent toutefois avoir été relativement peu abordés dans la littérature. Le caractère novateur de l'économie circulaire peut expliquer les faibles retours d'expérience sur l'emploi en raison d'un manque de recul pour réaliser des évaluations. En France, si le développement de l'économie circulaire est encore partiel, les effets des réallocations sectorielles à venir sur l'emploi pourraient être positifs étant donné que les activités de l'économie circulaire sont plus intensives en travail (Jolly et Douillard, 2016) que les secteurs industriels « classiques » qui perdraient en emplois dans la production d'équipements neufs. Néanmoins, cet avantage pourrait n'être que temporaire en lien avec la montée de la robotisation ou de l'automatisation (qui est déjà en déploiement dans les activités de tri des déchets et dans la réparation).

¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/leconomie-circulaire>

² Orée (2022), « Développer l'emploi et les compétences grâce à l'économie circulaire », livret, collection « Économie circulaire et création de valeur », n° 5.

³ Jolly C. et Douillard P. (2016), « L'économie circulaire, combien d'emplois ? », France Stratégie, *La Note d'analyse*, avril, n° 46.

⁴ À titre d'information, il s'agirait d'environ 300 000 emplois supplémentaires selon le ministère de la Transition écologique (2019).

Sur le champ prospectif, plusieurs études ont été récemment menées à l'échelle de l'Union européenne, notamment pour permettre de construire les directives européennes relatives à l'économie circulaire. Les résultats mettent en avant des effets positifs sur l'emploi : les emplois créés relèvent pour la plupart de la réutilisation des matériaux recyclés et sont souvent locaux (Deboutière et Georgeault, 2015¹).

Sur la nature des emplois créés par l'économie circulaire, l'étude britannique de Morgan et Mitchell (2015)² est l'une des plus complètes. Les auteurs montrent que la qualité des emplois créés va dépendre du type d'activité considérée dans l'économie circulaire. Le réemploi (i.e. récupérer des objets avant qu'ils ne soient jetés) et le recyclage (i.e. le traitement des produits arrivés en fin de vie permettant de réintroduire certains de leurs matériaux dans la production de nouveaux produits) généreraient essentiellement des emplois à faible ou à moyenne qualification, répartis sur l'ensemble du territoire (en raison de la nécessaire proximité avec les consommateurs). En revanche, pour le « remanufacturing » (i.e. la reconstruction d'un produit en utilisant une combinaison de pièces réutilisées, réparées et neuves) et le bioraffinage (installations industrielles qui transforment notamment les productions agricoles en biocarburant), ce serait davantage des emplois qualifiés et concentrés dans les zones d'activité industrielle. Quant à la « servitisation » (i.e. entreprises manufacturières qui élargissent leur rapport client via de nouveaux services), elle se concentrerait dans les zones très urbanisées et créerait des emplois de toutes qualifications. Les auteurs concluent que les régions et les secteurs qui enregistrent actuellement les plus hauts niveaux de chômage seraient ceux qui bénéficieraient le plus de ces créations d'emplois. En effet, les emplois créés par un développement de l'économie circulaire impliquant le « remanufacturing », la réparation et la « servitisation » se situeraient notamment à proximité des sites industriels, où le chômage a tendance à être plus élevé à l'heure actuelle.

3. Changement de l'intensité en emploi lié à l'évolution technologique : focus sur les transports

Concernant les conséquences du progrès technique, et plus largement des évolutions technologiques, sur l'intensité en emploi au sein des secteurs clés de la transition climatique, trois effets notables peuvent être mis en évidence : celui de la transformation d'un marché existant, celui de la création de nouveaux marchés par « ruissellement » et celui de la forte contraction des emplois au sein d'un marché bien établi nécessitant une anticipation rapide des transitions vers des filières plus durables écologiquement.

¹ Deboutière A. et Georgeault L. (2015), « [Quel potentiel d'emplois pour une économie circulaire ?](#) », Institut national de l'économie circulaire, étude bibliographique.

² Morgan J. et Mitchell P. (2015), « [Opportunities to tackle Britain's labour market challenges through growth in the circular economy](#) », Green Alliance et WRAP, janvier.

3.1. Exemple de transformation d'un marché existant : l'automobile

L'emploi de tous les secteurs sera concerné par les transformations de la transition bas carbone, mais de manière très hétérogène. L'industrie automobile risque d'être l'une des plus touchées par des changements notables (Encadré 6) alors qu'elle est en termes d'emplois l'un des secteurs les plus importants de l'économie française (Parisot, 2019).

Encadré 6 – L'automobile

Dans les années à venir, l'activité automobile sera modulée principalement par trois grandes dynamiques avec des effets directs sur l'emploi : (i) l'évolution des systèmes de propulsion avec le développement des motorisations électriques et des véhicules hybrides (avec l'interdiction du véhicule thermique et la généralisation des zones à faibles émissions (ZFE) qui accélèrent fortement la transformation), (ii) le développement des véhicules plus connectés et (iii) la montée en puissance de nouveaux usages comme le covoiturage ou les mobilités actives.

Face à ces enjeux, plusieurs études prévoient un recul important de l'emploi dans ce secteur, de l'ordre d'un tiers ou de la moitié. En Allemagne, selon une étude de l'institut IFO (Falck *et al.*, 2021¹), un tiers des emplois du secteur automobile seraient menacés d'ici 2030. Une autre enquête réalisée par l'institut Fraunhofer (Fraunhofer IAO, 2019²) en juin 2018 montre que le nombre d'emplois pourrait être réduit de moitié – soit 110 000 emplois en moins, dans un scénario où le véhicule électrique représente 80 % du marché en 2030. Selon The Shift Project (2021a), ce serait le recul de l'usage de la voiture qui serait la cause principale de la réduction d'emploi au sein du secteur, avant l'électrification des véhicules, même si celle-ci y contribuerait en rendant l'industrialisation et la réparation moins intenses en emploi à hauteur de 20 %.

Les estimations concernant le nombre d'emplois menacés restent néanmoins assez discutées. Elles nécessitent de comprendre les différences entre la construction d'un véhicule thermique et celle d'un véhicule électrique sur l'ensemble de la chaîne de production. Certains métiers vont disparaître, d'autres apparaîtront, modifiant sensiblement les processus de production.

¹ Falck O., Czernich N. et Koenen J. (2021), *Auswirkungen der vermehrten Produktion elektrisch betriebener Pkw auf die Beschäftigung in Deutschland*, IFO Institut.

² Fraunhofer IAO (2019), *ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland*.

Les proportions et le rythme auxquels interviendront ces évolutions sont abordés différemment selon les études, en fonction du parti pris méthodologique :

- pour la fondation Nicolas Hulot et la CFDT (2021)¹, sur la seule activité du bloc-moteur, les emplois menacés sont estimés à 23 000 en 2030 et à 34 000 en 2035, contre 10 000 emplois créés en 2030 et 12 000 en 2035 par le véhicule électrique ;
- McKinsey dénombre dans PFA (2021)² les emplois menacés à l'horizon 2030 à 60 000 et à 100 000 à l'horizon 2035, contre 35 600 emplois créés (hors créations d'emplois induites par les bornes de recharge).

À noter que Parisot (2019) souligne que des modélisations de l'European Climate Foundation tendent à nuancer ce constat sur les destructions d'emplois. L'institut prévoit la création nette de 66 000 emplois en France en 2030 dans un scénario où les véhicules électriques, hybrides rechargeables et hydrogène représentent 37 % du marché. L'auteure note cependant que ces emplois ne seraient pas nécessairement créés dans la filière automobile, mais seraient plutôt issus du développement de nouvelles filières (nouveaux composants, batteries, transfert des consommations des ménages vers les services grâce aux potentiels gains de pouvoir d'achat liés aux véhicules électriques ou hybrides). Par ailleurs, comme mentionné *supra*, les résultats sectoriels des modélisations mettent en avant une relative stabilité de l'emploi dans l'automobile (SNBC) et les matériels de transports (Métiers 2030) par comparaison avec les modèles davantage axés sur la sobriété (Ademe S2 et NegaWatt).

3.2. Exemple de création de nouveaux marchés par ruissellement sur d'autres filières : le vélo

En corollaire du recul de l'usage des voitures thermiques, l'essor des mobilités actives pourrait entraîner un large développement économique des filières concernées et même au-delà, comme l'illustrent les opportunités en termes d'emplois liés au déploiement du vélo (Encadré 7).

¹ Fondation Nicolas Hulot et CFDT (2021), *Automobile, comment relever le défi d'une transition juste ? Notre scénario pour l'emploi et le climat*, juin.

² PFA (2021), *Feuille de route de la filière automobile à l'horizon 2030. Réussir la transition énergétique et digitale*, travail réalisé sous l'égide du CSF Automobile, avec l'aide de McKinsey & Company, octobre.

Encadré 7 – Le vélo

Le budget des ménages sur le poste « vélo » augmente fortement depuis 2012. Dans ce contexte, The Shift Project (2021a) estime le potentiel d'emplois directs de la filière « vélo » en 2050 à environ 45 000 ETP dans la filière industrielle et 185 000 ETP dans l'aval (vente, entretien, réparation), soit 230 000 ETP au total (et environ 115 000 ETP à l'horizon 2030). L'existence de proximités techniques avec l'automobile faciliterait les reconversions et donc le déploiement de cette filière.

Néanmoins, les effets sur l'emploi du vélo ne peuvent pas se limiter aux seuls effets « directs ». La filière vélo regroupe plusieurs types d'emplois : la fabrication, la distribution et la réparation de vélos mais aussi le marché du vélo de location, les services de stationnement et de sécurité du vélo, l'apprentissage et la promotion du vélo, l'utilisation du vélo en outil de travail et de transport (livraisons) et plus largement les effets sur l'emploi du tourisme à vélo et les nouvelles habitudes de consommation associées. Selon Inddigo et Vertigolab (2020)¹, un touriste à vélo a un niveau de dépenses nettement plus élevé qu'un touriste non cycliste. Il dépense globalement beaucoup plus en hébergement – en ayant moins recours aux hébergements non marchands – et beaucoup plus en restauration – avec nettement plus de recours aux restaurants.

Hors tourisme et logistique, Inddigo et Vertigolab (2020) estiment que l'économie du vélo génère en 2017 un nombre d'emplois d'environ 36 700 au total. Cette estimation comprend les activités directes, mais aussi les impacts indirects et induits représentant les effets d'entraînement générés par les activités directes sur les autres secteurs de l'économie nationale. Si la tendance passée se poursuit à l'horizon de 2030, Inddigo et Vertigolab (2020) évaluent dans un scénario tendanciel la croissance des emplois liée à l'économie du vélo dans son ensemble à 31 % sur la période 2017-2030, soit une hausse annuelle relativement dynamique de 2,1 % en moyenne.

Un scénario plus allant est néanmoins probable étant donné que le déploiement en cours d'actions visant à accroître la pratique du vélo en France. Ces dernières seraient susceptibles de renforcer les retombées socioéconomiques des activités du vélo sur l'économie nationale. Dans un autre scénario, Inddigo et Vertigolab (2020) montrent par exemple que l'économie du vélo pourrait atteindre près de 200 000 emplois en ETP, soit un accroissement du nombre d'emplois de 13,8 % par an sur 2017-2030.

¹ Inddigo et Vertigolab (2020), *Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France*, rapport, coll. « Les dossiers de la DGE ».

Tous ces résultats positifs sur l'emploi induits par l'économie du vélo doivent néanmoins être considérés avec précaution : l'usage du vélo et son développement sont susceptibles de se faire au détriment d'autres modes de transports qui verront leurs effectifs diminuer.

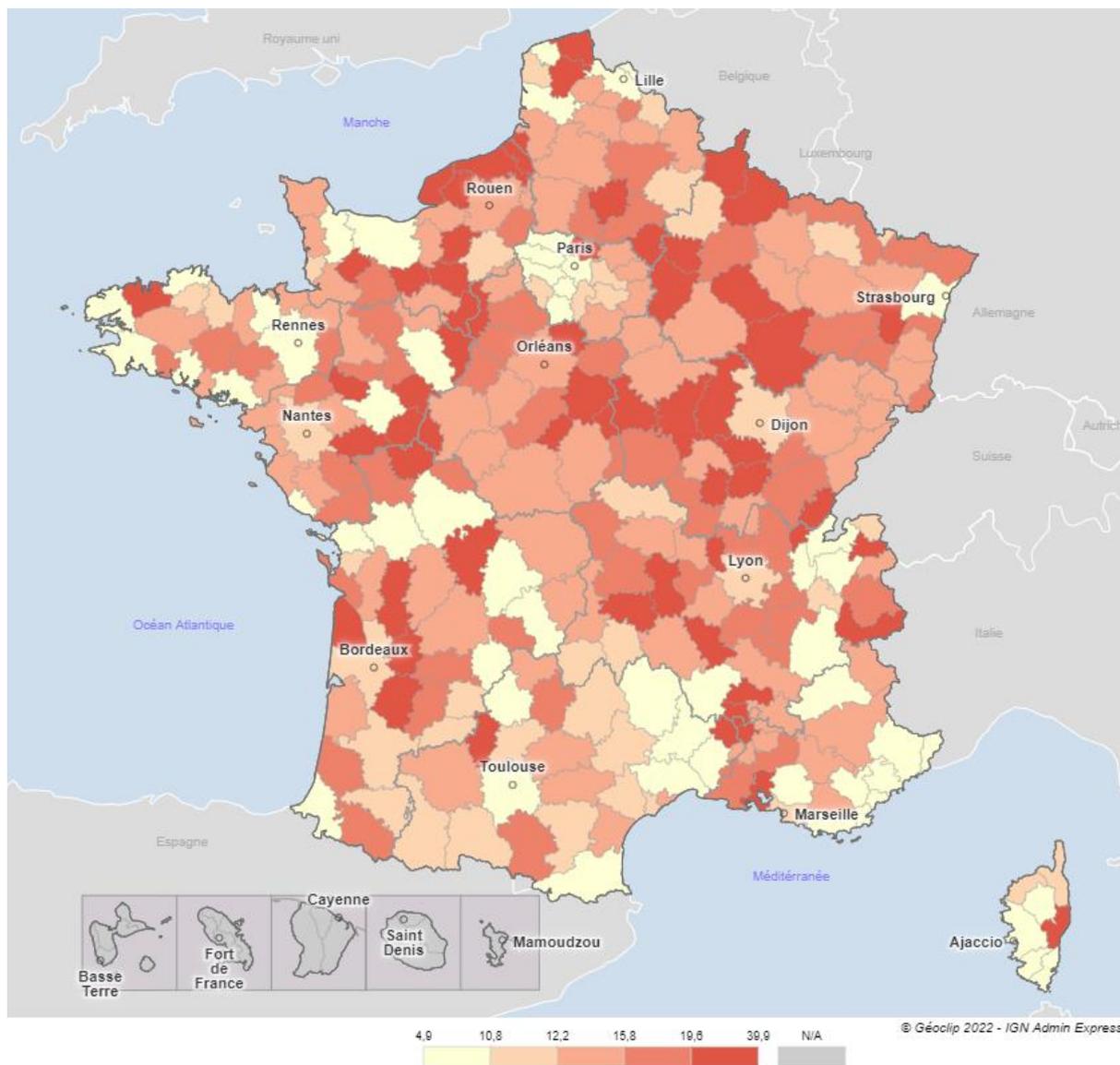
4. La dimension géographique des réallocations d'emplois : l'exemple de l'industrie

Les territoires sont concernés différemment par les activités émettrices de GES, et seront donc plus ou moins touchés par la question des réallocations d'emploi. Le poids dans l'emploi des secteurs les plus émetteurs de GES¹ varie en effet fortement d'une zone d'emploi à l'autre en France (Carte 1) : dans la zone d'emploi de la vallée de la Bresle et du Vimeu (Normandie et Hauts-de-France), près de 40 % des postes appartiennent à un de ces secteurs ; à l'inverse, c'est le cas de moins de 6 % des postes dans les zones d'emploi de la Côte d'Azur (Sainte-Maxime, Menton) ou de Versailles. Pour autant, les zones d'emploi de Paris et de Lyon sont celles où le nombre de postes dans les secteurs productifs les plus émetteurs est le plus important (Carte 2) malgré un poids limité dans l'emploi total, en raison d'une population nombreuse dans ces zones. La zone d'emploi de Roissy, fortement liée au secteur du transport aérien, émerge comme un cas particulièrement concerné : plus d'un poste sur quatre (27 %) dans cette zone dépend d'un secteur fortement émetteur, pour un total de 100 000 postes environ, ce qui en fait la troisième zone d'emploi du pays pour le nombre de postes dans les secteurs les plus émetteurs.

L'industrie apparaît comme un enjeu particulièrement important parmi les secteurs concernés. Au Royaume-Uni, le rapport du Green Jobs Taskforce (2020) met ainsi en exergue les effets géographiques à attendre de la transition écologique sur l'emploi industriel. Celui-ci montre par exemple que le pourcentage d'emplois affectés pourrait varier de 19 % à Londres à près d'un quart dans les régions de l'est de l'Angleterre. Le nord-est de l'Écosse serait particulièrement sensible aux effets de la transition sur l'économie locale étant donné qu'une part importante de la population est employée dans l'industrie pétrolière et gazière (10 % de la main-d'œuvre d'Aberdeen employée dans ce secteur). Le rapport conclut ainsi qu'un accompagnement insuffisant de la transition écologique sur les territoires aurait des répercussions économiques importantes au niveau local.

¹ Agriculture, industries extractives, travail du bois et du papier, cokéfaction et raffinage, industrie chimique, fabrication de produits en plastique et autres minéraux non métalliques, métallurgie, énergie, traitement des déchets et transports.

Carte 1 – Part des secteurs les plus émetteurs dans l'emploi en 2019

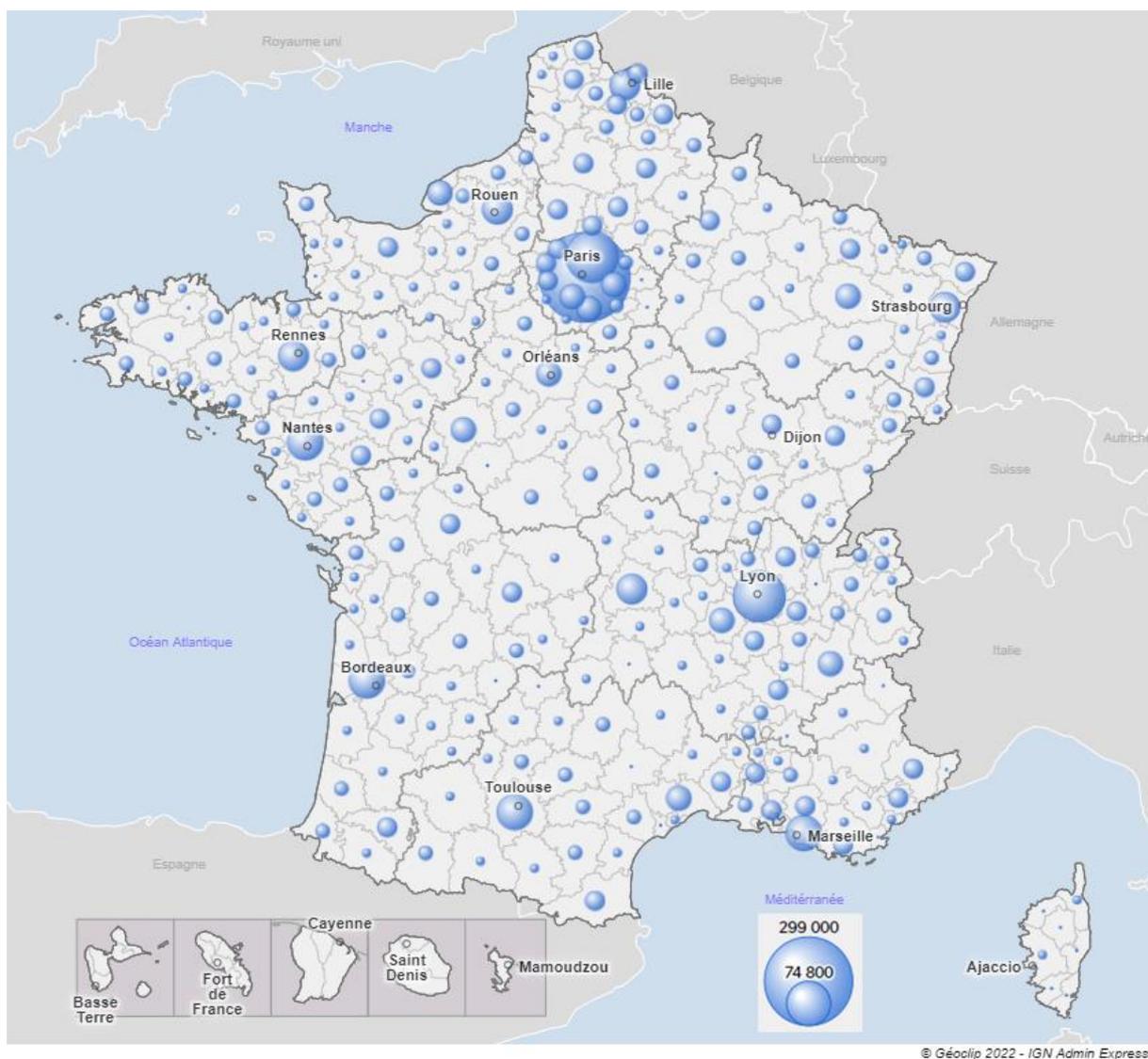


Champ : établissements employeurs actifs hors secteur de la défense et hors particuliers employeurs, postes salariés en fin d'année.

Lecture : dans la zone d'emploi de Dunkerque, en 2019, 22,5 % des postes salariés étaient dans un des sept secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre.

Source : Insee, Flores 2019

Carte 2 – Nombre de postes dans les secteurs les plus émetteurs en 2019



Champ : établissements employeurs actifs hors secteur de la défense et hors particuliers employeurs, postes salariés en fin d'année.

Lecture : dans la zone d'emploi de Dunkerque, en 2019, 22,5 % des postes salariés étaient dans un des sept secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre.

Source : Insee, Flores 2019

En France, le secteur industriel a perdu en quarante ans près de la moitié de ses effectifs (2,2 millions d'emplois, selon France Stratégie, 2020¹) et ne représente aujourd'hui plus que 10,3 % des emplois totaux sur le territoire. Les épisodes successifs de

¹ France Stratégie (2020), *Les politiques industrielles en France. Évolutions et comparaisons internationales*, rapport à l'Assemblée nationale, novembre.

désindustrialisation ont montré que les disparitions d'activités sur certains territoires ont eu des effets négatifs importants sur le long terme, en particulier sur le chômage et le niveau de salaires. Dans ce contexte, un récent travail du Cepii (Arquié et Grjebine, 2023¹) illustre les difficultés des personnes touchées par des plans sociaux et note que la transition écologique pourrait s'accompagner de difficultés de même nature. Limiter ces risques passerait donc par des politiques publiques conciliant décarbonation et renforcement des tissus productifs sur les territoires.

La réindustrialisation doit aller de pair avec une adaptation des systèmes productifs intégrant les enjeux environnementaux pour offrir des opportunités d'emploi viables à moyen et long terme et participer au respect de nos engagements climatiques. La demande des ménages en biens de consommation doit également s'adapter à cette évolution de l'offre, au risque sinon de faire croître les émissions engendrées par les importations. L'impact potentiel d'un mouvement de redéploiement de l'industrie sur les besoins en main-d'œuvre et les bassins d'emplois doit donc aussi être considéré (Encadré 9).

Encadré 9 – L'industrie

Dans le cadre de la transition écologique, des relocalisations d'activités vers les anciens sites industriels riches en emploi sont susceptibles d'intervenir sur le territoire français, en vue, soit de faire revenir des productions réalisées à l'étranger (la production textile notamment comme le montrent les actions de REV3 dans les Hauts-de-France), soit de créer de nouvelles productions visant à remplacer des produits importés (la filière de production de batterie par exemple, qui constitue, selon The Shift Project, un « nouveau segment clé » de l'industrie manufacturière dans un contexte de développement des mobilités électriques).

En ce sens, une récente étude du cabinet Deloitte (2021)² propose une modélisation de l'impact de la réindustrialisation et met en évidence des retombées positives à la fois sur les émissions de CO₂ évitées mais également sur la production, la valeur ajoutée et l'emploi.

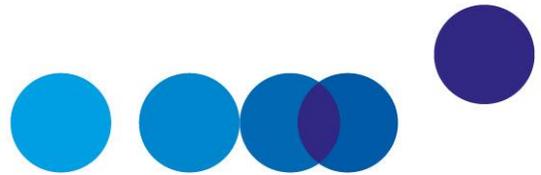
¹ Arquié A. et Grjebine T. (2023), « [Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?](#) », *La lettre du CEPII*, n° 435, mars.

² Deloitte (2021), *Le redéploiement industriel, un enjeu social, économique et un instrument de maîtrise de notre empreinte carbone. Étude d'impact de la désindustrialisation sur l'empreinte carbone de la France*, rapport final, janvier.

Dans son récent rapport visant à dresser un bilan prévisionnel de l'évolution du système électrique, RTE (2022)¹ explore un scénario ambitieux de réindustrialisation profonde dans lequel « l'activité industrielle française serait amenée à augmenter de manière très importante afin de répondre aux différents objectifs socioéconomiques : souveraineté stratégique, création d'emplois, réduction de l'empreinte carbone ». Dans ce scénario, l'industrie manufacturière verrait son poids dans le PIB remonter à l'horizon 2050 pour atteindre 12-13 % du PIB. En 2030, l'industrie représenterait 10,5 % du PIB contre 9,9 % en 2019. RTE ne présente pas de données sur l'emploi dans ses projections mais envisage un accroissement des secteurs stratégiques et de technologies de pointe et une relocalisation de productions fortement émettrices de gaz à effet de serre de manière à réduire l'empreinte carbone de la France. Ce scénario se fonde également sur la dynamique des branches informatiques, électroniques et électriques ou celles des machines et équipements. Un tel scénario, dont seulement une partie peut être directement liée à la transition, devrait aussi s'accompagner d'une redistribution territoriale de l'emploi industriel puisqu'il modifierait la structure industrielle du pays.

L'industrie automobile peut toutefois illustrer des incertitudes. Il s'agit d'un secteur très concentré géographiquement et qui se délocalise progressivement depuis plusieurs décennies (3,5 millions de véhicules assemblés il y a vingt ans, contre un peu plus de 2 millions aujourd'hui, selon The Shift Project). Dans le cadre de la transition écologique, deux effets contraires pourraient dès lors s'observer : d'une part, une accélération des destructions d'emplois dans les zones géographiques où se concentrent les usines de fabrication et d'assemblage dans un contexte de développement des mobilités alternatives (voir Encadrés 5 et 6 *supra*) ; et d'autre part, un retour des emplois délocalisés dans la production de petites voitures qui constituent davantage l'avenir de l'industrie automobile face aux attentes de la transition bas carbone. Les petits véhicules étaient historiquement un point fort des constructeurs français, mais aujourd'hui la quasi-totalité de leur production est réalisée à l'étranger (The Shift Project), ce qui laisse entrevoir des opportunités de relocalisation en termes d'emplois. C'est dans ce contexte que le scénario bas carbone de Métiers 2030 envisage une relative stabilité de l'emploi dans les matériels de transport à l'horizon 2030.

¹ RTE (2022), *Futurs énergétiques 2050*, rapport complet, juin.



CHAPITRE 3

ANTICIPER LES MOUVEMENTS DE MAIN-D'ŒUVRE ET ACCOMPAGNER LES TRANSITIONS

Une analyse des créations et des destructions d'emplois par métiers à attendre suite à la transition écologique montre que celle-ci n'entraînerait pas – *a priori* – de renforcement des polarisations entre peu et très qualifiés sur le marché du travail, étant donné que les métiers de la transition se situeraient plutôt au milieu de la distribution des qualifications. Néanmoins, les créations d'emplois attendues dans certains métiers spécifiques pourraient créer des besoins de main-d'œuvre supplémentaire et, dans certains cas, de compétences nouvelles. Dès lors, l'un des forts enjeux de la transition écologique serait d'éviter les frictions liées à un manque de main-d'œuvre pour ces métiers en croissance. Cette problématique est d'autant plus aiguë qu'une partie de ces métiers est déjà touchée aujourd'hui par des difficultés de recrutement.

1. Quels métiers « gagnants » et « perdants » ?

Les principales frictions liées à la transition écologique s'observeront au niveau des métiers eux-mêmes, en fonction des besoins nécessaires à la transition. Le respect de la trajectoire de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) dans les projections réalisées par la Dares et France Stratégie dans le cadre des Métiers 2030 est modélisé grâce à un choc d'investissement des ménages et des entreprises (voir [annexe 2](#)). Ce choc suppose l'absence de contraintes de financement ou de contraintes d'offre, si bien que ces investissements sont additionnels et se traduisent sur la période de projection (2019-2030) par la création de 200 000 emplois supplémentaires dans le scénario bas carbone par rapport au scénario de référence, via un effet « multiplicateur ».

Tableau 1 – Les quinze métiers dont la part dans l'emploi total serait la plus élevée dans le scénario bas carbone en 2030 par rapport au scénario de référence

Famille professionnelle	Emplois en 2030 (en milliers)		Écart (en milliers)	Écart (en %)	Croissance du poids dans l'emploi (en pp)
	Scénario de référence	Scénario bas carbone			
Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	533	560	28	5 %	0,09
Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment	349	369	19	6 %	0,06
Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics	350	360	11	3 %	0,03
Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	411	420	9	2 %	0,02
Cadres du bâtiment et des travaux publics	268	276	7	3 %	0,02
Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	168	174	6	4 %	0,02
Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction	103	108	4	4 %	0,01
Ouvriers qualifiés de la maintenance	197	201	4	2 %	0,01
Cadres des services administratifs, comptables et financiers	765	772	8	1 %	0,01
Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics	71	75	3	5 %	0,01
Professionnels du droit (hors juristes en entreprise)	119	122	3	2 %	0,01
Ouvriers du travail du bois et de l'ameublement	107	109	3	3 %	0,01
Personnels d'études et de recherche	453	458	5	1 %	0,01
Ingénieurs de l'informatique	580	586	5	1 %	0,01
Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal	153	156	3	2 %	0,01

Note : la variation est calculée en faisant la différence entre le scénario bas carbone et le scénario de référence.

Champ : personnes en emploi en France métropolitaine.

Source : [Les Métiers en 2030](#) (France Stratégie et Dares, 2022)

Dans ces projections, les métiers dont la part dans l'emploi augmenterait le plus d'ici 2030 dans le scénario bas carbone par rapport au scénario de référence¹ seraient surtout des métiers de la construction (sept métiers sur quinze, voir Tableau 1) qui gagneraient près de 130 000 emplois supplémentaires parmi les 200 000 emplois créés dans le scénario bas carbone. Ce serait notamment le cas des ouvriers qualifiés du second œuvre

¹ À noter que le scénario de référence inclut déjà une partie des mesures permettant de mettre en œuvre la transition climatique (avec notamment le plan de relance).

(+28 000 emplois supplémentaires par rapport au scénario de référence, soit +5 %), des ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment (+19 000, soit +6 %) ou des techniciens et agents de maîtrise du BTP (+11 000, soit +3 %).

Le respect de la SNBC profiterait également aux ouvriers qualifiés de la maintenance (+5 000 emplois supplémentaires dans le scénario bas carbone, soit +2 %). La maintenance serait, en effet, stimulée par l'entretien des équipements multipliés par la stratégie d'investissement des autres activités. Les métiers des industries des matériaux de construction tels que les ouvriers du travail du bois et de l'ameublement (+3 %) ou les ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal (+2 %) bénéficieraient également de l'accroissement de la rénovation des bâtiments.

Le secteur agricole serait, quant à lui, moins destructeur d'emplois dans le scénario bas carbone que dans le scénario de référence avec la préservation de 16 000 emplois liés au développement de l'agriculture biologique, plus intensive en main-d'œuvre, et de l'exploitation forestière. La part des agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs et bûcherons dans l'emploi total en 2030 est plus élevée dans le scénario bas carbone que dans le scénario de référence. Ce métier comptabiliserait 9 000 emplois supplémentaires dans le scénario bas carbone en 2030 (+2 %).

Enfin, la transition énergétique stimulerait les activités de service aux entreprises. Ainsi, les cadres des services administratifs, comptables et financiers gagneraient près de 8 000 emplois supplémentaires en 2030 dans le scénario bas carbone (+1 %). C'est le cas aussi des ingénieurs de l'informatique ou des personnels d'étude et de recherche qui gagneraient chacun 5 000 emplois supplémentaires soit +1 %.

À l'inverse, certains métiers verraient leur part dans l'emploi baisser dans le scénario bas carbone, notamment certains métiers polluants (« emplois bruns »). Par exemple, dans un contexte de renouvellement du parc automobile, les ménages se concentreraient sur l'achat de véhicules électriques qui nécessitent moins d'investissements dans la réparation automobile. Par conséquent, les effectifs des ouvriers qualifiés de la réparation automobile baisseraient de 3 000 emplois en 2030 par rapport au scénario de référence.

Si le scénario bas carbone prévoit moins de destructions d'emplois que le scénario de référence, il faut toutefois souligner que les conséquences de telles destructions peuvent être particulièrement durables, et qu'il convient donc d'y porter une attention particulière. Une étude récente du Cepii (Arquié et Grjebine, 2023¹) alerte sur le fait que, par le passé, face à des chocs macroéconomiques importants, et contrairement à l'hypothèse de destruction créatrice, des transformations importantes des modes de production n'ont pas entraîné de réallocations de main-d'œuvre favorables à l'économie locale. L'exemple

¹ Arquié A. et Grjebine T. (2023), « [Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?](#) », *La lettre du CEPII*, n° 435, mars.

des plans sociaux intervenus dans l'industrie entre 1997 et 2019 montre en effet que les salariés qui ont retrouvé un emploi travaillent dans des entreprises plus petites et moins créatrices de valeur. Les effets passés de la désindustrialisation laissent ainsi présager que la transition écologique s'accompagnera aussi de chocs négatifs durables sur le marché du travail en l'absence de politiques publiques ciblées visant à accompagner la transition. Plus globalement, la littérature économique ayant évalué les conséquences de l'ouverture du commerce international, notamment avec la Chine, a également mis en évidence des effets durables de ce choc : Autor *et al.* (2013)¹ aux États-Unis et Malgouyres (2016)² en France montrent que des effets négatifs sur l'emploi industriel sont encore visibles dans les zones d'emploi concernées à un horizon de plus de dix ans après l'ouverture du marché chinois, tout en étant concentrés localement, en raison d'une main-d'œuvre restée peu mobile.

2. Quels besoins en compétences et quels risques de pénurie de main-d'œuvre ?

Dans l'exercice de projection Métiers 2030, le scénario bas carbone implique donc une création d'emplois parfois relativement importante dans certains métiers spécifiques, ce qui crée un besoin de main-d'œuvre supplémentaire, et parfois de compétences nouvelles. L'une des problématiques de la transition écologique serait donc de fournir en main-d'œuvre ces métiers en croissance dans la transition bas carbone, problématique d'autant plus aigüe qu'une partie de ces métiers est déjà touchée par des difficultés notables : sur les quinze métiers qui gagneraient le plus de parts d'emploi dans le scénario bas carbone de Métiers 2030 relativement au scénario de référence, deux sont déjà concernés en 2021 par un manque de main-d'œuvre très important (les ouvriers du travail du bois et les personnels d'étude et de recherche) et six par un manque de main-d'œuvre important (Tableau 2). Dans neuf métiers sur quinze, ces difficultés sont notamment liées à la recherche de compétences spécifiques. Ces métiers font en effet appel à des profils techniques, dont les savoir-faire acquis par l'expérience ou la formation ne sont pas facilement accessibles par les demandeurs d'emploi ou les diplômés d'autres filières.

¹ Autor D. H., Dorn D. et Hanson G. H. (2013), « [The China syndrome: Local labor market effects of import competition in the United States](#) », *American Economic Review*, vol. 103(6), octobre, p. 2121-2168.

² Malgouyres C. (2016), « [The impact of Chinese import competition on the local structure of employment and wages: Evidence from France](#) », Banque de France, document de travail n°603, septembre.

Tableau 2 – Indicateurs d'éclairage sur les sources de tension dans les quinze métiers dont le poids dans l'emploi augmenterait le plus dans le scénario bas carbone

Famille professionnelle	Tensions	Manque de main-d'œuvre disponible	Non-durabilité de l'emploi	Lien formation emploi	Conditions de travail contraignantes	Inadéquation géographique
Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	5	2	3	4	3	4
Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment	5	3	3	4	4	4
Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics	5	4	1	4	3	3
Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	4	2	5	3	4	5
Cadres du bâtiment et des travaux publics	5	4	1	4	1	3
Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	5	1	4	1	4	4
Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction	5	4	4	1	5	5
Ouvriers qualifiés de la maintenance	5	2	3	4	3	4
Cadres des services administratifs, comptables et financiers	5	4	1	2	1	1
Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics	5	3	4	3	3	4
Professionnels du droit (hors juristes en entreprise)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ouvriers du travail du bois et de l'ameublement	5	5	3	4	5	5
Personnels d'études et de recherche	5	5	1	4	1	1
Ingénieurs de l'informatique	5	4	1	5	1	2
Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal	5	4	4	5	5	4

Lecture : 1 – niveau faible ; 5 – niveau élevé.

Champ : personnes en emploi en France métropolitaine.

Source : [Les Métiers en 2030](#) (France Stratégie et Dares, 2022) ; Niang M., Chartier F. et Lainé F. (2022), « *Les tensions sur le marché du travail depuis 2021. Au plus haut niveau depuis 2011* », Dares/Pôle emploi, Dares Résultats, n° 45, septembre

Par ailleurs, les besoins de recrutement ne seraient pas seulement tirés par les créations nettes d'emploi mais également par la nécessité de remplacement de postes laissés vacants par les seniors partant en retraite, également modélisée dans Métiers 2030. Dans certains métiers, les jeunes débutants ne suffiront ainsi pas à pourvoir tous les postes nécessaires. Ils devront être comblés par les demandeurs d'emploi, les actifs en emploi qui changent de métier

ou les récents immigrés (dont les flux ne sont pas quantifiés). Ces déséquilibres, qui traduisent de potentielles difficultés de recrutement, seront accentués dans les métiers du bâtiment et des travaux publics qui sont au cœur de la rénovation énergétique des bâtiments. Dans le scénario bas carbone, les recrutements difficiles pourraient ainsi représenter en 2030 un tiers des postes à pourvoir du domaine professionnel du bâtiment et des travaux publics, contre un quart dans le scénario de référence. Pour les ouvriers qualifiés du gros œuvre et du second œuvre, ce serait respectivement 20 000 et 30 000 postes supplémentaires non pourvus par les jeunes par rapport au scénario de référence.

Concernant plus spécifiquement les métiers considérés comme stratégiques dans le cadre de la réindustrialisation verte, la Direction générale des Entreprises (DGE) estime que cinquante métiers clés dans l'industrie se trouveront en situation de déséquilibre à l'horizon 2030, pour un manque d'effectifs cumulés de 162 000 emplois. Parmi ces cinquante métiers, une quinzaine seraient particulièrement concernés, allant de la réalisation de structures métalliques au métier de soudeur et concernent des métiers industriels qui sont déjà en forte tension aujourd'hui (Graphique 2). Le déséquilibre projeté sur ces quinze métiers à l'horizon 2030 atteindrait environ 130 000 postes.

En plus de ces besoins en compétences induits par des créations d'emplois nouveaux, la transition écologique pourrait créer également de nouveaux besoins en modifiant les compétences des professions existantes. Au Royaume-Uni, le rapport du Green Jobs Taskforce (2020)¹ anticipe une forte augmentation des besoins en managers avec la transition écologique : des chefs de projet seront nécessaires dans toutes les industries avec des compétences en leadership pour conduire le changement culturel vers une économie décarbonée.

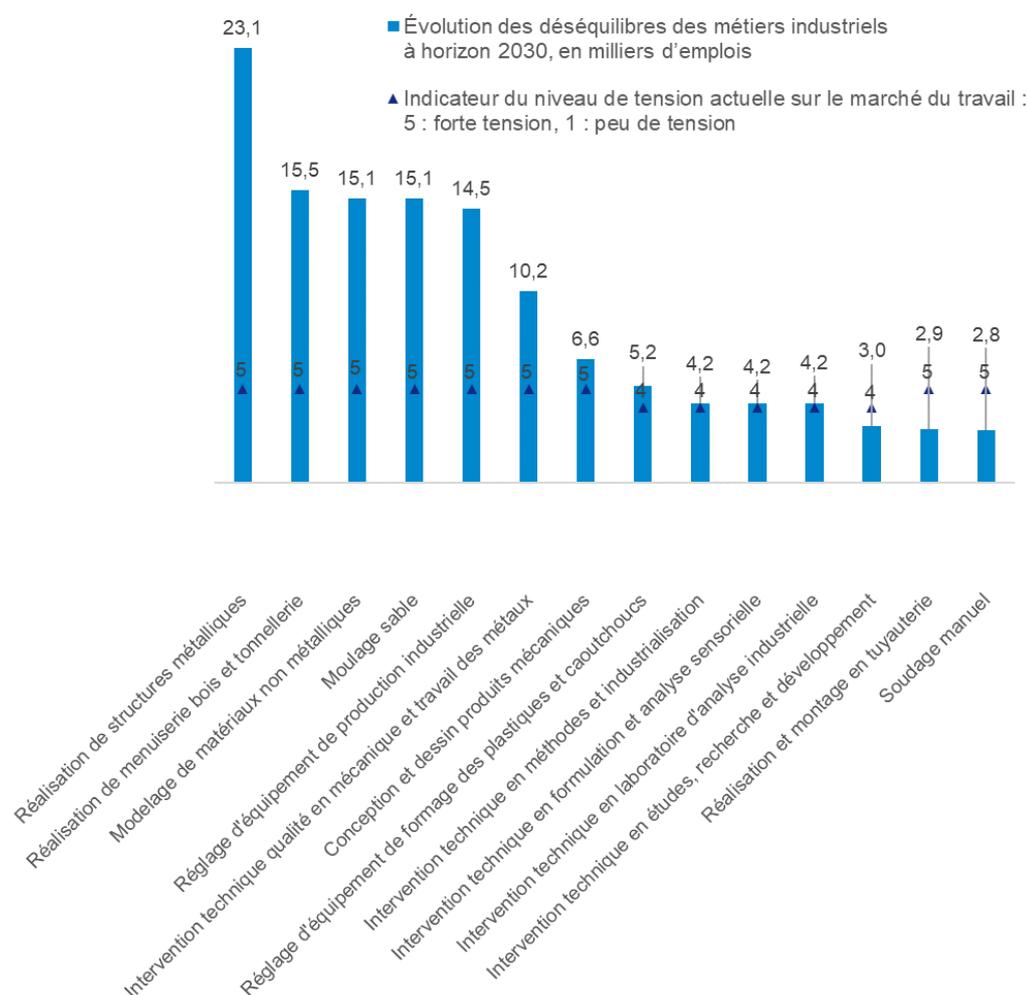
Par ailleurs, selon les employeurs interrogés par Pôle emploi (Lainé et Matus, 2022²), la transition écologique impliquera plutôt la mise en place de nouvelles méthodes de travail (gestes métiers, application des normes, formes de collaboration entre corps de métiers, nouveaux outils ou nouvelles matières premières) et l'adaptation de compétences déjà existantes (réglementaires notamment) qu'un besoin de compétences nouvelles ou de nouveaux profils. Le besoin d'adapter les méthodes de travail et les compétences est plus prégnant dans les secteurs/métiers les plus émetteurs de GES sur lesquels pèsent les obligations réglementaires et fiscales, ou qui bénéficient d'incitations. Il s'agit essentiellement de l'agriculture (en particulier le secteur des cultures), du bâtiment et des travaux publics, du commerce et de la réparation automobile, ou encore du transport et de l'entreposage. Les secteurs et métiers de services sont *a priori* moins concernés par cette adaptation des

¹ Green Jobs Taskforce (2020), *Report to Government, Industry and the Skills sector*.

² Lainé F. et Matus M. (2022), « Recrutement, compétences et transition écologique : des enjeux qui se polarisent sur quelques secteurs », *Éclairages et synthèses*, n° 72, Pôle emploi, juin.

compétences, à l'exception de l'enseignement qui participe à la formation à ces enjeux et de l'hôtellerie-restauration, impactée par les nouvelles exigences alimentaires et les réglementations en matière de recyclage et de lutte contre le gaspillage. Néanmoins, la transition implique de repenser les manières de servir et produire dans toute la société, au-delà des secteurs les plus directement émetteurs. Ainsi, par exemple le secteur de la santé (The Shift Project, 2021b¹) devra également adapter ses pratiques professionnelles pour réduire son empreinte carbone.

Graphique 2 – Déséquilibre des métiers industriels à l'horizon 2030, en milliers d'emplois



Champ : France métropolitaine.

Source : calculs DGE à partir du rapport [Les Métiers en 2030](#) (France Stratégie et Dares, 2022), et des indicateurs d'éclairage sur les sources de tension (Dares et Pôle emploi)

¹ The Shift Project (2021b), [Décarboner la Santé pour soigner durablement](#), rapport, novembre.

Face aux risques de difficultés de recrutement, les enjeux autour de l'offre de formation et de son adaptation sont primordiaux pour répondre aux besoins de nouveaux métiers. D'après Parisot (2019)¹, l'enseignement supérieur ainsi que les voies professionnelles et technologiques intègrent de plus en plus les problématiques de la transition écologique. Il reste néanmoins compliqué de réaliser une cartographie complète du nombre des établissements ou d'étudiants concernés ainsi que des effectifs d'enseignants impliqués. Dans ce cadre, l'auteure note que si « la plupart de ces formations sont bien orientées, il n'est pas certain que l'offre soit suffisante pour être à la hauteur des enjeux ». Par ailleurs, elle estime que les formations spécialisées sur la capture, le stockage et la réutilisation du carbone, la récupération et la valorisation de la chaleur fatale ne sont pas encore assez développées.

En matière d'enseignement supérieur, le rapport récent du climatologue Jean Jouzel (2022)² pour la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche souligne que la prise en compte des enjeux de transition écologique dans les enseignements progresse, sous la pression notamment des étudiants et de la société. Toutefois, pour atteindre l'objectif que chacun dispose des connaissances et des compétences suffisantes pour agir pour la transition écologique en tant que citoyen et futur professionnel, il note qu'il y a un besoin plus marqué de pilotage et d'accompagnement par les autorités publiques pour généraliser la prise en compte des enjeux dans toutes les filières. Pour ce faire, il propose que 100 % des étudiants de niveau bac + 2, et de tous les cursus, soient formés aux enjeux de la transition écologique d'ici cinq ans.

En plus de la formation initiale des nouveaux entrants sur le marché du travail, d'autres leviers doivent être actionnés pour pourvoir les postes nécessaires à la transition écologique et accompagner la reconversion des travailleurs déjà en poste, notamment ceux exerçant dans les secteurs les plus menacés par la transition :

- L'adaptation de la formation continue aux nouvelles compétences de la transition écologique et une priorisation dans son accès aux travailleurs les plus exposés. L'offre actuelle des organismes de formation n'intègre pas assez les enjeux de la transition, selon les Acteurs de la compétence (ex-Fédération de la formation professionnelle), du fait d'une faible maturité des organismes et des formateurs, mais aussi de débouchés perçus comme insuffisants. Trois types d'offres se distinguent : l'acculturation aux enjeux de la transition, l'acquisition de compétences techniques

¹ Parisot L. (2019), *Plan de programmation des emplois et des compétences. Mission de préparation*, rapport, février.

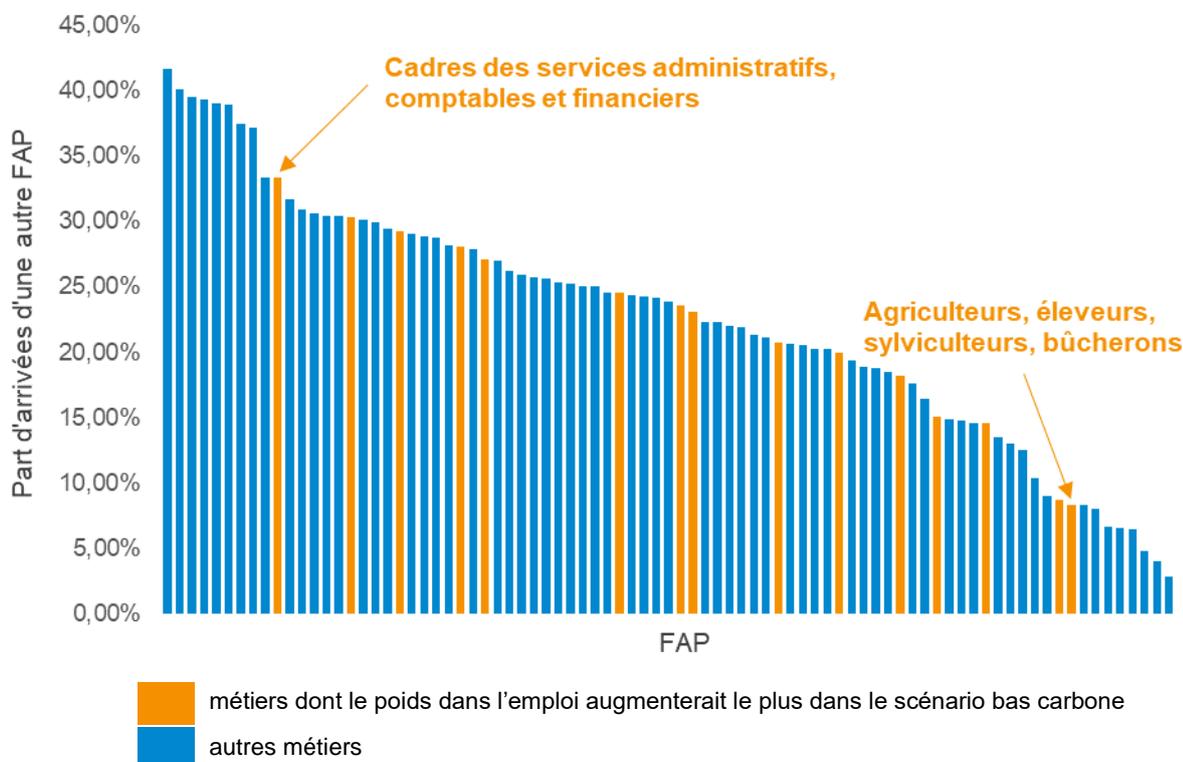
² Jouzel J. (2022), *Sensibiliser et former aux enjeux de la transition écologique et du développement durable dans l'enseignement supérieur*, rapport remis à Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, février.

dans les métiers « verts » ou « verdissants », et la mise en conformité liée à la réglementation et à la sécurité (France Stratégie, Céreq, Ademe et ministère de la Transition écologique, 2021¹).

- L'accompagnement des mobilités interprofessionnelles pour amortir le phénomène de destruction créatrice d'emplois de la transition écologique décrit *supra* et anticiper les tensions et frictions sur le marché du travail. Prioriser les reconversions des travailleurs de secteurs/métiers menacés par la transition écologique vers des secteurs/métiers porteurs (de la transition ou autre, comme pour tous les métiers du soin dont la croissance à 2030 est tirée par le vieillissement démographique) permettrait de concilier enjeux écologiques, économiques et sociaux. Cela nécessite néanmoins un accompagnement spécifique pour à la fois s'appuyer au maximum sur les compétences transférables identifiées des travailleurs entre deux métiers (les métiers en croissance dans le scénario bas carbone présentent des degrés d'ouverture au recrutement interprofessionnel plus modérés en moyenne, Graphique 3) et améliorer la qualité des emplois d'arrivée. La possibilité de telles reconversions passe également par une évolution des canaux et modalités de recrutement des entreprises, qui doivent s'ouvrir à des profils venant d'autres horizons professionnels. À l'heure actuelle, par exemple, si un tiers des personnes qui exerce le métier de cadre des services administratifs occupaient précédemment un métier différent, ce n'est le cas que d'une personne sur dix pour les ouvriers du bois ou pour les agriculteurs (Tableau 3).

¹ France Stratégie, Céreq, Ademe et ministère de la Transition écologique (2021), « [Identifier et accompagner les compétences de la transition écologique](#) », synthèse du cycle 2020 de webconférences, juillet.

**Graphique 3 – Mobilités interprofessionnelles depuis une autre famille
parmi les 87 familles professionnelles**



Note : la nomenclature des familles professionnelles (FAP) permet d'analyser les métiers et regroupe des professions qui font appel à des compétences communes. Ici, le niveau FAP agrégées se compose de 87 familles professionnelles. Cette nomenclature est organisée à partir de domaines professionnels qui sont des niveaux plus agrégés. Il y a au total 22 domaines professionnels qui regroupent encore plus de métiers que les FAP. Par exemple, le domaine professionnel de l'agriculture, marine, pêche comprend quatre FAP : les agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons ; les maraîchers, jardiniers, viticulteurs ; les techniciens et cadres de l'agriculture ; et les marins, pêcheurs, aquaculteurs.

Champ : France métropolitaine.

Lecture : en 2015, parmi les cadres des services administratifs, comptables et financiers, 33 % exerçaient en 2010 dans une autre famille professionnelle (y compris une famille du même domaine). Une part des métiers dont le poids dans l'emploi augmenterait le plus dans le scénario bas carbone est concentrée dans la partie droite du graphique, laissant entrevoir des possibilités de mobilités plus limitées en comparaison avec les autres familles professionnelles.

Source : Insee, enquête Formation et qualification professionnelle 2014-2015, traitement Dares

**Tableau 3 – Viviers d'emploi dans les quinze métiers
dont le poids dans l'emploi augmenterait le plus dans le scénario bas carbone**

Famille professionnelle	Mobilités interprofessionnelles		Part des immigrés dans l'emploi en 2017
	Depuis une autre famille professionnelle	Depuis un autre domaine professionnel	
Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	21 %	15 %	14 %
Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment	15 %	7 %	25 %
Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics	23 %	18 %	N/A
Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	8 %	8 %	N/A
Cadres du bâtiment et des travaux publics	30 %	12 %	11 %
Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	27 %	20 %	27 %
Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction	25 %	15 %	19 %
Ouvriers qualifiés de la maintenance	29 %	26 %	7 %
Cadres des services administratifs, comptables et financiers	33 %	22 %	N/A
Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics	18 %	6 %	10 %
Professionnels du droit (hors juristes en entreprise)	15 %	6 %	N/A
Ouvriers du travail du bois et de l'ameublement	9 %	9 %	N/A
Personnels d'études et de recherche	28 %	28 %	13 %
Ingénieurs de l'informatique	24 %	18 %	14 %
Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal	20 %	12 %	10 %
Moyenne	22 %	16 %	N/A

Champ : France métropolitaine (colonnes 1 et 2) / France hors Mayotte (colonne 3), calculs Dares.

Lecture : en 2015, parmi les ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment, 21 % exerçaient en 2010 dans une autre famille professionnelle (y compris une famille du même domaine) et 15 % dans un autre domaine professionnel.

Source : Insee, enquête Formation et qualification professionnelle 2014-2015, traitement Dares (colonnes 1 et 2) / Insee, recensement de la population 2017, traitement Dares (colonne 3)

- La dimension géographique des frictions induites par la transition est également centrale. L'exposition à la transition (en risques comme en opportunités) n'est pas répartie de manière homogène sur le territoire, et de nombreux territoires présentent déjà des tensions de recrutement du fait d'une très forte inadéquation géographique. En 2021, parmi les quinze métiers les plus concernés par la transition bas carbone selon Métiers 2030, trois sont déjà sujets à une très forte inadéquation géographique (agriculteurs, ouvriers qualifiés des travaux publics et ouvriers du bois, voir Tableau 2 *supra*). Ces politiques de reconversion doivent donc être précédées d'une analyse territoriale des emplois menacés à court et moyen terme et des métiers porteurs pour promouvoir les réallocations entre eux sans décalage temporel. La déclinaison régionale du rapport *Les Métiers en 2030* (France Stratégie et Dares, 2023¹) donne à voir les déséquilibres à dix ans par métier et par région dans le scénario de référence et permet d'identifier les métiers en tension. C'est par exemple le cas des maraîchers, viticulteurs et jardiniers dont les déséquilibres seraient élevés (entre 12 % et 17 % de l'emploi) dans les deux premières régions agricoles de France, la Nouvelle-Aquitaine et la Bretagne, mais également dans les régions viticoles de Bourgogne-Franche-Comté et du Grand Est. La déclinaison régionale du scénario bas carbone de Métiers 2030 (prévue pour mi-2023) permettra de visualiser par région les métiers les plus menacés et les plus « portés » par la transition écologique ainsi que les déséquilibres potentiels.
- Enfin, l'immigration peut être une source de main-d'œuvre pour pourvoir les postes nécessaires dans les métiers concernés par la transition écologique. Certains de ces métiers sont d'ailleurs déjà historiquement des métiers où la proportion de travailleurs immigrés est importante, notamment dans le secteur du bâtiment : en 2017, plus d'un quart des ouvriers du gros œuvre étaient des immigrés (respectivement 25 % pour les ouvriers qualifiés et 27 % pour les ouvriers non qualifiés, voir Tableau 3 *supra*).

De nombreux outils, initiatives et dispositifs publics ont été créés pour contribuer à l'observation, l'anticipation et l'accompagnement de l'évolution des métiers et des compétences générées par la transition écologique (voir par exemple le cycle de conférences synthétisé dans France Stratégie, Céreq, Ademe et ministère de la Transition écologique, 2021). La loi « Climat et résilience », promulguée en août 2021, consacre un chapitre entier à l'intégration de la transition écologique dans le champ de l'emploi et de la formation professionnelle (en matière de dialogue social notamment). Les feuilles de route de décarbonation des secteurs les plus émetteurs de GES,

¹ France Stratégie et Dares (2023), *Les Métiers en 2030. Quelles perspectives de recrutement en région ?*, rapport, janvier.

produites dans le cadre de l'article 301 de cette même loi, intègrent un volet « Emplois - compétences », tout comme la programmation pluriannuelle de l'énergie dans le cadre de la future Stratégie française énergie-climat. En lien avec le plan d'investissement « France 2030 », intégrant la décarbonation de l'industrie, l'Appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Compétences et métiers d'avenir » vise à anticiper et répondre aux besoins des entreprises en matière de formation et de compétences nouvelles pour les métiers d'avenir. Enfin plus récemment, la création du Secrétariat général à la planification écologique (SGPE) en juillet 2022 vise à assurer la cohérence entre toutes les stratégies environnementales et à coordonner la mobilisation de toutes les parties prenantes.

S'agissant des politiques de l'emploi, la DGEFP accompagne les branches professionnelles et les entreprises à travers l'identification de leurs besoins en emploi. Deux dispositifs sont mobilisés à cet effet : les EDEC (engagements de développement de l'emploi et des compétences) à destination des branches ou filières, et la prestation de conseil RH qui permet d'accompagner les TPE/PME dans leurs enjeux RH face aux mutations. Ce dernier dispositif est principalement mis en œuvre en cofinancement avec les opérateurs de compétences (Opco). Ces deux dispositifs évoluent pour intégrer systématiquement la transition écologique, comme en témoigne le lancement récent ou à venir de nombreux EDEC de la transition : EDEC Climat et métiers de l'ingénierie avec l'Opco Atlas, EDEC Transition écologique avec l'Opco EP (interbranches), EDEC Transition écologique avec l'UDES (Union des employeurs de l'ESS), Uniformation et Afdas, etc.

La transition écologique est un axe d'autant plus prioritaire pour les Opco qui se sont vus confier, dans la loi « Climat et résilience », la mission d'accompagner les branches professionnelles et les entreprises sur ce sujet¹.

En matière d'accompagnement des reconversions professionnelles, plusieurs dispositifs publics existent aujourd'hui pour sécuriser les transitions des salariés (Projet de transition professionnelle – PTP, dispositif démission reconversion, ou dispositif démissionnaire, Reconversion ou promotion par alternance dite Pro-A, etc.). Le dispositif Transitions

¹ Dans une note de synthèse de juillet 2022 (Diagne *et al.*, 2022), France Stratégie et le CGDD formulaient cinq recommandations. Faire de la transition écologique un projet d'entreprise et un projet collectif/stratégique au sein de l'Opco ; construire une analyse transversale à l'ensemble des branches professionnelles couvertes des impacts de la transition écologique sur les métiers ; parvenir à une vision fine des dynamiques territoriales en vue de proposer un accompagnement de proximité ; fixer des engagements clairs entre les Opco et l'État en matière d'information et d'accompagnement des entreprises à la transition écologique ; mettre en cohérence les politiques environnementales et les politiques relatives aux compétences en instaurant un dialogue entre les Opco et l'État (ministères et opérateurs compétents) et plus largement au niveau interministériel.

collectives (Transco) déployé depuis 2021 vise explicitement à accompagner la reconversion des travailleurs dont l'emploi est fragilisé vers un emploi porteur dans leur bassin de vie. Porté par les partenaires sociaux et intégré dans un écosystème territorial, le dispositif peine pourtant à trouver son public : il a concerné en 2022 moins de 400 salariés. Le même constat est fait sur les autres dispositifs de reconversion, le nombre de salariés concernés reste faible (moins de 20 000 PTP en 2021) et leur mobilisation très insuffisante au regard des enjeux emploi de la transition écologique. Un droit effectif à la reconversion professionnelle reste encore à construire pour accompagner ces réallocations sectorielles et concilier intérêts individuels et collectifs.

3. Quelle attractivité pour les emplois créés ?

Dans la littérature économique, les résultats de la transition écologique sur la qualité de l'emploi sont contrastés. Popp *et al.* (2020)¹ évaluent l'effet sur l'emploi aux États-Unis des mesures « vertes » de la relance budgétaire prévue par l'American Recovery and Reinvestment Act (ARRA). Ils trouvent peu de gains d'emploi significatifs à court terme, et la majorité des emplois créés sont dans la construction et la gestion des déchets : ce sont pour l'essentiel des emplois manuels avec des salaires qui ne sont pas plus élevés que ceux des emplois détruits. Néanmoins, d'après l'analyse descriptive de différents marchés aux États-Unis entre 2006 et 2014 de Marin *et al.* (2019)², les emplois verts génèreraient au contraire une prime salariale autour de 4 %. De même, pour Bergant *et al.* (2022)³, les emplois verts ont tendance à être occupés par des travailleurs qui gagnent un revenu plus élevé, sont plus qualifiés, occupent des postes moins exposés à l'automatisation et vivent en zone urbaine. Les auteurs constatent aussi que les emplois verts sont associés à une prime salariale qui va au-delà des caractéristiques observables.

En réalité, la qualité des emplois créés va dépendre pour beaucoup du type d'activité exercée (Tableau 4).

¹ Popp D., Vona F., Marin G. et Chen Z. (2020), « [The employment impact of green fiscal push: evidence from the American Recovery Act](#) », National Bureau of Economic Research, Working Paper 27321, juin.

² Marin G., Vona F. et Consoli D. (2019), « Measures, drivers and effects of green employment: evidence from US local labor markets, 2006-2014 », *Journal of Economic Geography*, vol. 19(5), septembre, p. 1021-1048.

³ Bergant K., Mano R. et Shibata I. (2022), « [From polluting to green jobs: a seamless transition in the U.S.?](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Papers, juillet.

Tableau 4 – Littérature sur la nature de la création d'emplois dans les activités de l'économie circulaire¹

Secteur	Étude	Pays	Type d'emploi
Recyclage	EEA (2011)	Union européenne	Travail peu qualifié en particulier, mais aussi emplois moyennement et hautement qualifiés, allant de la collecte à la transformation de produits
Recyclage	ILO (2011)	Allemagne	16 % peu qualifiés, 47 % qualifiés, 11 % technique, 25 % diplôme universitaire
Collecte des déchets	ECOTEC (2002)	Union européenne	Main-d'œuvre à des taux de salaire relativement bas
Remanufacturing	APPSRG (2014)	Royaume-Uni	Qualifié, avec des besoins de formation importants
Gestion des déchets	SITA (2012)	Royaume-Uni	Des métiers variés, mais particulièrement de niveaux intermédiaires (superviseurs/opérateurs) et manuels
Système de dépôt-retour	Eunomia (2011)	Royaume-Uni	Une gamme de compétences large serait requise, y compris certains emplois plus qualifiés. Les emplois seraient dispersés géographiquement, avec des centres de comptage et la logistique et les emplois régionaux dans le commerce et la collecte
Remanufacturing	Beck (2011)	États-Unis	Compétences et formation relativement élevées et exigeantes

Source : Morgan et Mitchell (2015), p. 24

¹ EEA (2011), *Earnings, Jobs and Innovation: The Role of Recycling in a Green Economy*, rapport n° 8/2011 ; ILO (2011), *Skills for Green Jobs: A Global View* ; Ecotec (2002), *Analysis of the EU Eco-Industries, their Employment and Export Potential*, rapport pour la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne ; APPSRG (2014), *Remanufacturing – Towards a Resource Efficient Economy* ; SITA (2012), *Driving Green Growth* ; Eunomia (2011), *From Waste to Work: The Potential for a Deposit Refund System to Create Jobs in the UK* ; et Beck R. W. (2001), *US Recycling Economic Information Study*, préparé pour The National Recycling Coalition.

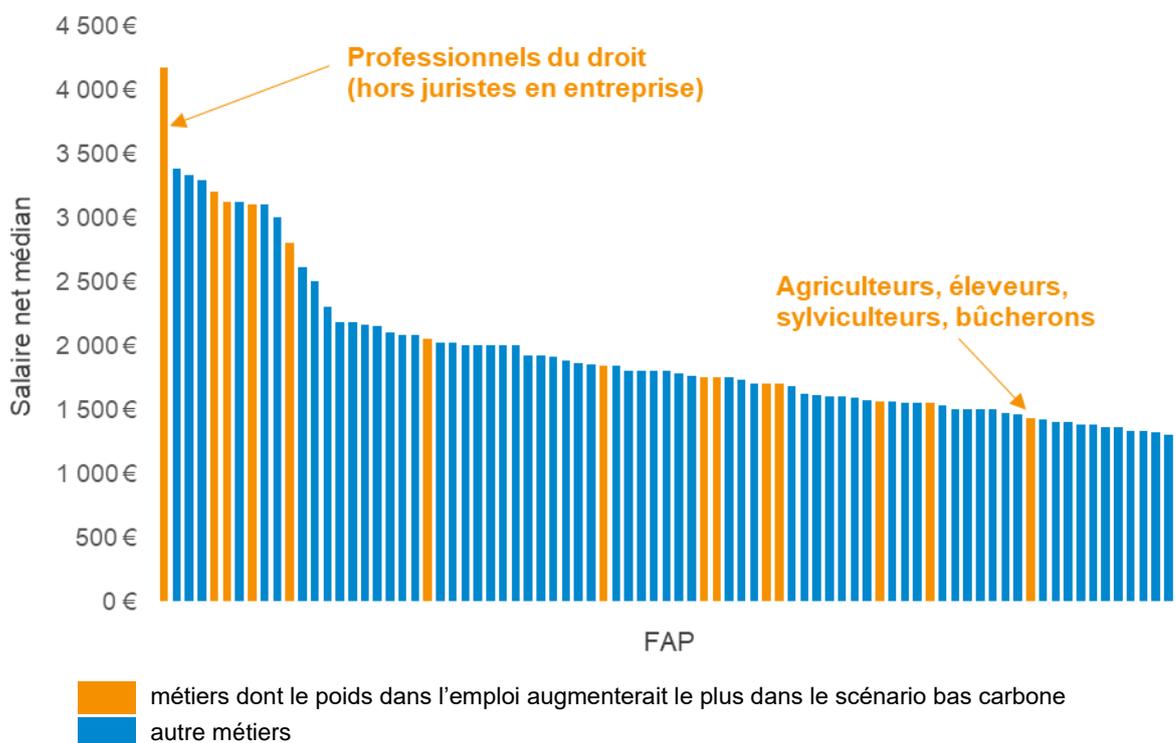
Le même constat peut être fait sur données françaises : l'attractivité salariale n'est pas uniforme parmi les familles professionnelles les plus affectées par la transition écologique (Graphique 4). Ainsi, le salaire médian des ouvriers non qualifiés du gros œuvre est inférieur d'environ 15 % au salaire médian de l'ensemble des salariés, à 1 841 euros en moyenne sur 2017-2019 (Tableau 5).

Tableau 5 – Salaires nets médians des quinze métiers dont la part dans l'emploi total serait la plus élevée dans le scénario bas carbone en 2030 par rapport au scénario de référence

Famille professionnelle	Salaire net médian (en €)
Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	1 700
Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment	1 700
Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics	2 058
Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	1 430
Cadres du bâtiment et des travaux publics	2 808
Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	1 560
Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction	1 841
Ouvriers qualifiés de la maintenance	1 750
Cadres des services administratifs, comptables et financiers	3 200
Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics	1 800
Professionnels du droit (hors juristes en entreprise)	4 173
Ouvriers du travail du bois et de l'ameublement	1 579
Personnels d'études et de recherche	3 100
Ingénieurs de l'informatique	3 120
Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal	1 756
Moyenne	1 841

Champ : salariés à temps complet hors apprentis et stagiaires.

Source : enquête Emploi, Insee, moyenne annuelle sur les années 2017 à 2019, traitement Dares

Graphique 4 – Salaires nets médians dans les 87 familles professionnelles

Champ : salariés à temps complet hors apprentis et stagiaires.

Lecture : en comparaison avec ceux des autres familles professionnelles, les salaires des métiers dont le poids dans l'emploi augmenterait le plus dans le scénario bas carbone sont davantage présents dans les niveaux supérieurs et intermédiaires.

Source : enquête Emploi, Insee, moyenne annuelle sur les années 2017 à 2019, traitement Dares

Les conditions de travail constituent un autre composant de la qualité de l'emploi. En France, Havet *et al.* (2022)¹ se sont appuyés sur les dernières éditions de l'enquête *Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels* (SUMER) de 2010 et 2017 pour étudier l'évolution de l'exposition des salariés aux facteurs de pénibilité en vue de comparer les professions de l'économie verte aux autres. Si les auteurs notent qu'au cours de la dernière décennie, les expositions aux risques professionnels dans l'économie verte ont évolué généralement dans le même sens que dans le reste de l'économie, les intensités à la baisse ont été néanmoins plus modestes dans l'économie verte tandis que les intensités à la hausse y ont été plus fortes. Les auteurs soulignent par ailleurs que, concernant spécifiquement les risques d'expositions aux agents chimiques CMR et du travail posté et de nuit, ceux-ci ont augmenté dans les emplois de l'économie verte alors qu'ils ont baissé ailleurs. Enfin, les auteurs observent que les dégradations des

¹ Havet N., Bayart C. et Penot A. (2022), « La pénibilité au travail dans les professions de l'économie verte : les enseignements des enquêtes SUMER 2010-2017 », in Havet N. (dir.), *Disparités d'exposition aux facteurs de pénibilité en milieu professionnel et inégalités sociales de santé*, Dares, rapport d'études n° 31, août, p. 141-164.

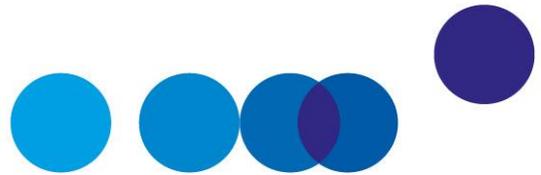
conditions de travail au sein de l'économie verte semblent s'être réalisées principalement au détriment de certains groupes déjà fragiles sur le marché du travail (ouvriers, contrats précaires, salariés occupant un travail posté).

La question des conditions de travail contraignantes apparaît effectivement sensible dans les métiers dont le poids dans l'emploi progresserait le plus dans le cadre de la transition écologique d'après Métiers 2030. Les ouvriers qualifiés des travaux publics, les ouvriers du bois et les ouvriers qualifiés travaillant par formage du métal sont des métiers où les conditions de travail sont particulièrement contraignantes d'après les indicateurs d'éclairage sur les sources de tensions définis par la Dares et Pôle emploi.

Enfin, si l'adaptation des conditions de travail au changement climatique reste encore peu appréhendée par les entreprises et dans les plans nationaux d'adaptation, la problématique commence à être au cœur de plus en plus de travaux en cours. Ainsi, la commission « Travail et emploi » du Conseil économique, social et environnemental (Cese) a initié en octobre 2022 des réflexions autour du lien entre dérèglements climatiques, santé au travail et santé environnementale, et a sollicité dans ce cadre les employeurs et représentants du personnel pour « identifier les actions déjà mises en œuvre, ainsi que les freins et leviers pour concilier l'adaptation aux évolutions climatiques avec la santé au travail » (Prusak, 2022¹). Il en ressort que si une majorité de répondants considère que le dérèglement climatique et plus généralement la dégradation de l'environnement peut affecter la santé des salariés et des agents, la prise en compte dans les politiques de santé au travail reste faible.

Afin de pourvoir ces métiers aux niveaux où l'exigerait la transition écologique, il sera donc nécessaire de viser à améliorer la qualité de ces emplois de manière à accroître leur attractivité, soit en améliorant les conditions de travail là où cela est envisageable, soit en compensant des conditions de travail difficiles par d'autres facteurs d'attractivité, par exemple par une augmentation des salaires.

¹ Prusak L. (2022), « [Adaptation au changement climatique : quels enjeux en matière de gestion des ressources humaines ?](#) », AEF Info, dépêche n° 683815, décembre.



CONCLUSION

Les analyses présentées *supra* anticipent des effets relativement faibles de la transition écologique sur le niveau agrégé d'emploi. Toutefois, la transition devrait s'accompagner d'une réallocation relativement importante de la main-d'œuvre à la fois entre secteurs et au sein des secteurs clés de la transition.

En fonction des hypothèses retenues dans les scénarios sectoriels, les évolutions liées à la transition écologique pourront entraîner des frictions plus ou moins marquées sur le marché du travail. Sur le plan géographique notamment, la transition écologique pourra conduire à un renforcement des fragilités territoriales existantes si les emplois détruits sont concentrés dans des zones peu denses et/ou déjà touchées par la désindustrialisation des années 2000. Ainsi, des scénarios qui resteraient très orientés sur le progrès technologique et/ou proches du mode de vie actuel, comme les scénarios S3 et S4 de l'Ademe, pourraient entretenir la métropolisation, alors que des scénarios axés davantage sur des changements de comportement, via la préférence pour le local, les circuits courts ou la relocalisation des activités, comme l'illustrent les scénarios S1 et S2 de l'Ademe, seraient susceptibles de réduire les fractures territoriales. En ce qui concerne les compétences, les scénarios étudiés estiment plutôt que la transition écologique ne conduirait pas à une accentuation de la polarisation du marché du travail entre peu et très qualifiés, notamment car les métiers bénéficiant de la transition se situeraient plutôt au milieu de la distribution des qualifications. Cette question de la polarisation peut cependant rester un point de vigilance, notamment au vu des conséquences qu'elle pourrait avoir, en matière d'inégalités salariales par exemple.

Dans ce contexte, les politiques publiques devront se concentrer sur l'anticipation des nouveaux besoins en compétences, l'accompagnement des demandeurs d'emploi, l'amélioration des conditions de travail des salariés exposés et l'adéquation des offres de formation aux besoins des entreprises et aux territoires.

Quels enjeux pour l'emploi à moyen terme ?

La transition écologique transforme de nombreux métiers existants, dans toutes les filières, avec une intensité plus ou moins forte. À la clé, sont attendus de nouveaux agencements de compétences ainsi que des compétences additionnelles (notamment les compétences transversales et comportementales comme l'autonomie, l'adaptation, le travail en équipe, la créativité). Il s'agit d'une évolution qui n'est pas spécifique à la transition écologique, mais qui est probablement plus marquée que dans le cadre d'autres transformations majeures (comme la transition numérique, dont la composante technologique est prégnante). Ainsi, le ministère de l'Agriculture a intégré dans les cursus bac pro et BTS la capacité à mener un projet à plusieurs. Dans le BTP également, les compétences de coopération apparaissent essentielles pour les corps de métiers liés à la rénovation énergétique.

En matière de compétences techniques, dans les secteurs prioritairement concernés par la transition écologique, certains métiers « experts » se développent (chef de projet ENR, ingénieur d'étude hydrogène, conseiller info énergie, etc.), des métiers plus « traditionnels » se complexifient (opérateurs du tri, techniciens de maintenance électrique, agriculteurs responsables d'une unité de méthanisation, etc.) et de nouvelles figures professionnelles émergent dans des fonctions de « traducteurs » ou d'intermédiaires pour mettre en œuvre les transformations liées à l'écologisation des pratiques professionnelles. La création de nouvelles formations et l'adaptation des formations existantes constituent deux leviers centraux pour s'assurer de l'adaptabilité des travailleurs aux nouvelles méthodes de travail, et pour garantir la réussite au niveau macroéconomique de la transition écologique.

Ces transformations, qui sont donc plus largement une mutation de métiers déjà existants que la création massive de nouveaux métiers, demandent une connaissance et un suivi à un niveau très fin qui n'est pas encore immédiatement disponible. La mobilisation de l'ensemble de l'éco-système de l'entreprise (employeurs, salariés, branches, partenaires sociaux) sera indispensable pour construire cette connaissance précise qui permettra d'identifier précisément les compétences à développer.

Des reconversions importantes à anticiper

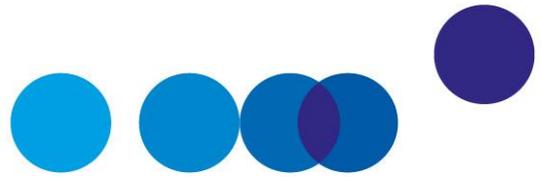
Il est primordial de pouvoir mettre à jour régulièrement le suivi des compétences des actifs et d'identifier les socles de compétences écologiques transférables d'un métier à l'autre. Des difficultés de formation dans les métiers peu ou moyennement qualifiés (reproduction de l'inégalité de formation initiale) ont déjà été identifiées. Ces difficultés sont d'autant plus fortes en présence de contraintes sur la disponibilité à se former (les indépendants ne perçoivent pas de revenu pendant leur temps de formation).

Impact sur l'organisation et les conditions de travail

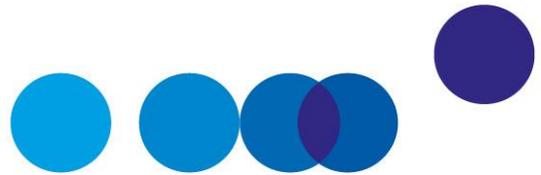
L'adaptation des métiers à une dégradation des conditions de travail due au changement climatique est nécessaire, notamment pour tous les métiers exercés à l'extérieur dont la productivité peut être impactée par les épisodes caniculaires ou la fréquence des événements climatiques extrêmes (voir l'étude de l'Ademe sur les risques physiques et l'adaptation au changement climatique de l'industrie). L'Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ, 2021¹) a observé par exemple que chaque degré au-dessus de 22 °C en Ontario entraînait une hausse de 75 % du nombre médian d'hospitalisations pour les malaises et les maladies au travail liés à la chaleur. À cet égard, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) recommandait dès 2018² de renforcer rapidement la mobilisation du monde du travail sur les questions des effets directs et indirects du changement climatique sur les risques professionnels, afin notamment de sensibiliser employeurs et salariés sur les conséquences sur la santé, par le biais de documentations spécifiques et de formations.

¹ INSPQ (2021), *Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation*, Institut national de santé publique du Québec, mars.

² Anses (2018), *Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs*, avis de l'Anses saisine n° 2013-SA-0216, rapport d'expertise collective, janvier.



ANNEXES



ANNEXE 1

REVUE DE LITTÉRATURE DES ÉTUDES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Revue de littérature des études à l'étranger

Dans la littérature internationale, l'évaluation des coûts macroéconomiques en emplois de la transition écologique a été menée de façon rétrospective (*ex post*) par des études économétriques portant principalement sur les effets des augmentations passées des prix de l'énergie, mais également de manière prospective (*ex ante*) avec des modèles d'équilibre général. La majorité de ces études tendent à conclure à des effets agrégés sur l'emploi généralement faibles – le plus souvent positifs – mais très hétérogènes et concentrés dans certains secteurs.

Par exemple, dans les évaluations rétrospectives, Hille et Möbius (2019)¹ notent que les hausses des prix énergétiques ont été associées à une augmentation globale de l'emploi net dans la majorité des économies suivies par l'OCDE. Si certains emplois dans les industries à forte intensité énergétique disparaissent en raison de la diminution de la compétitivité prix ou coût, de nouveaux emplois sont créés dans les secteurs produisant et installant des technologies de réduction de la pollution et fournissant des services de conseil en énergie. Sur données américaines, Marin *et al.* (2019)² montrent que l'accroissement d'une politique environnementale au sein d'une région a un effet positif sur la création d'emplois verts et estiment empiriquement qu'un emploi vert supplémentaire est associé à 4,2 nouveaux emplois (2,4 en période de crise) au sein des localités étudiées. Quant à Yamazaki (2017)³,

¹ Hille E. et Möbius P. (2019), « [Do energy prices affect employment? Decomposed international evidence](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 96, juillet, p. 1-21.

² Marin G., Vona F. et Consoli D. (2019), « [Measures, drivers and effects of green employment: evidence from US local labor markets, 2006-2014](#) », *Journal of Economic Geography*, vol. 19(5), septembre, p. 1021-1048.

³ Yamazaki A. (2017), « [Jobs and climate policy: evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 83, mai, p. 197-216.

il examine l'impact sur l'emploi de la taxe sur le carbone mise en place en 2008 en Colombie-Britannique (province du Canada). L'auteur trouve que, bien que toutes les industries semblent avoir bénéficié des recettes fiscales redistribuées, les industries les plus intensives en carbone ont vu leur emploi chuter avec la taxe, tandis que l'emploi a augmenté dans les industries « propres ». Au niveau agrégé, la taxe sur le carbone de la Colombie-Britannique aurait généré, en moyenne, une augmentation annuelle faible mais statistiquement significative de 0,74 % de l'emploi au cours de la période 2007-2013.

Concernant les évaluations prospectives, Füllemann *et al.* (2020¹) concluent à partir d'un modèle d'équilibre général que la transition énergétique a un impact positif net sur l'emploi. Les auteurs observent aussi des effets positifs sur l'emploi dans les activités non énergétiques provenant d'effets d'entraînement. En revanche, la plupart des résultats obtenus par Hafstead *et al.* (2022)² avec un modèle de plein emploi suggèrent que les taxes carbone ont des effets nets négatifs mais relativement faibles sur l'emploi.

Les principaux résultats des modélisations en France

En France, la revue de littérature d'Ouvrard (2015)³ montre des résultats empiriques variables. Les travaux du comité « Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone » publiés en 2012 par le Conseil d'analyse stratégique (CAS) mettent clairement en évidence ces disparités d'impact. Dans ce cadre, plusieurs modèles ont été utilisés pour estimer l'impact net sur l'emploi en 2030 d'une trajectoire de réduction de 75 % des émissions de CO₂ en 2050 par rapport à 1990 via l'introduction d'une taxe carbone. Les conclusions des modèles apparaissent assez hétérogènes à l'horizon de 2030. Ainsi, Nemesis simule des effets positifs, de +46 000 à +131 000 emplois, de même que ThreeME qui obtient des gains nets en termes d'emplois allant de +0,1 % jusqu'à +6,4 % à l'horizon 2030 tandis qu'Imaclim donne des résultats sur l'emploi plus modestes, voire négatifs (Ouvrard, 2015 et Ouvrard et Scapecchi, 2014⁴). En outre, le modèle Mésange permet d'évaluer l'impact d'une hausse de la taxe carbone équivalente à un point de PIB, conduisant à une baisse de l'emploi de l'ordre de 50 000 emplois à long terme, en

¹ Füllemann Y., Moreau V., Vielle M. et Vuille F. (2020), « [Hire fast, fire slow: the employment benefits of energy transitions](#) », *Economic Systems Research*, vol. 32(2), p. 202-220.

² Hafstead M. A. C., Robertson C. W. et Yunguang C. (2022), « Environmental policy, full-employment models, and employment: a critical analysis », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 9(2), mars, p. 199-234.

³ Ouvrard J.-F. (2015), « [L'analyse macroéconomique de la transition énergétique : difficile mais indispensable](#) », *Revue d'économie financière*, n° 117, p. 63-73.

⁴ Ouvrard J.-F. et Scapecchi P. (2014), « [Une grille d'analyse des évaluations des impacts macroéconomiques de la transition énergétique](#) », Coe-Rexecode, document de travail n° 48, mai.

l'absence de redistribution des recettes fiscales supplémentaires. Un descriptif de ces modèles est proposé en [annexe 2](#).

À noter que le modèle ThreeME est également utilisé par l'Ademe pour modéliser l'impact macroéconomique de quatre scénarios de neutralité carbone inspirés du GIEC (scénario S1 « Génération frugale », scénario S2 « Coopérations territoriales », scénario S3 « Technologies vertes » et scénario S4 « Pari réparateur »). Des résultats variables ont été obtenus en fonction des hypothèses retenues.

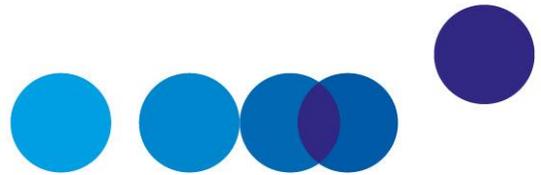
- Le scénario S1 est le seul dans lequel le chômage augmente. La transition écologique se matérialise par une baisse significative de la production de biens carbonés et des constructions neuves, entraînant une chute de l'investissement non compensée par la hausse des investissements en efficacité énergétique. À l'horizon 2035, le taux de chômage est supérieur de 6,4 points au niveau qu'il aurait pu avoir dans le tendanciel (2,3 millions d'emplois en moins à cette date, et 1,5 million d'emplois en moins en 2050).
- Le scénario S2 donne des résultats plus optimistes sur l'emploi. Comme dans le S1, il y a une baisse de la production industrielle et des constructions neuves, mais de manière plus modérée. La diminution des investissements productifs des entreprises est plus que compensée par la hausse des investissements dans les énergies renouvelables. Le surcroît d'activité économique est bénéfique pour l'emploi, avec 635 000 créations supplémentaires en 2030 par rapport au tendanciel, et 177 000 en 2050.
- Dans le scénario S3, les investissements dans l'efficacité énergétique sont plus faibles que dans le S2, traduisant des investissements avec une intensité en emplois plus faibles, une propension à importer plus élevée et moins de gains sur factures énergétiques pouvant être réinjectés dans l'économie. Les créations d'emplois associées au S3 sont par conséquent proches de celles S2 mais moins nombreuses (500 000 en 2030) avec des effets qui s'estompent plus rapidement.
- Enfin, le scénario S4 repose sur un « pari » technologique. Les forts investissements productifs « classiques » permettent en parallèle des investissements massifs dans la décarbonation énergétique et la capture d'émissions carbone pour atteindre « à marche forcée » les objectifs environnementaux. Il est par conséquent le scénario le plus énergivore mais aussi le plus créateur d'emplois, avec près de 800 000 emplois supplémentaires par rapport au tendanciel en 2035, puis 700 000 en 2050.

Enfin, d'autres modélisations bouclées ont été réalisées avec des résultats sur un horizon 2030 (SNBC, Métiers 2030, NégaWatt, voir [annexe 2](#)). Les impacts estimés montrent que la transition écologique permettrait de créer dès 2030 entre 200 000 (Métiers 2030)

et 500 000 (évaluation haute de l'impact emploi de la SNBC 2020, via ThreeME et Imaclim) emplois supplémentaires par rapport à un scénario sans mesure additionnelle. Des travaux non bouclés existent également, à l'instar de ceux du Shift Project, mettant en avant des effets modérés mais positifs en termes de créations nettes d'emplois (+300 000 à l'horizon 2050, avec 1,1 million de créations et 800 000 destructions). Ces résultats reposent toutefois sur une modélisation partielle centrée sur des secteurs moteurs de la décarbonation (transports, logement, agriculture et certaines industries, soit 45 % de l'emploi actuel).

Au regard de ces différences de résultats, les modélisations des impacts macroéconomiques de la transition écologique ne permettent pas de conclure de manière véritablement définitive quant aux effets agrégés de la transition énergétique sur l'emploi. Les résultats sont en premier lieu largement conditionnés par les modalités de financement de l'économie (via notamment la modélisation des effets d'éviction relatif à l'investissement selon si les modèles sont walrassiens ou néo-keynésiens). L'impact sur l'emploi dépend par ailleurs de la modélisation du chômage, volontaire ou involontaire, et de la situation macroéconomique initiale, plein emploi ou non. Les modes de recyclage des recettes supplémentaires générées par la fiscalité carbone influent également sur les résultats : une taxe carbone universelle non redistribuée aura un impact négatif sur l'emploi, qui peut être atténué, voire compensé par une redistribution aux ménages et aux entreprises, couplée à des mesures favorisant les alternatives décarbonées. La modélisation du progrès technologique (via notamment les possibilités de substitution technologique) ou encore l'évolution de la compétitivité (si le pouvoir d'achat et la compétitivité sont préservés, la consommation peut être maintenue et l'impact ne sera pas forcément négatif sur l'emploi) jouent également un rôle.

En outre, une caractéristique commune aux modélisations macroéconomiques est de présenter des résultats en écart à un scénario de référence lui-même construit à partir d'un certain nombre de postulats. Le choix du scénario de référence détermine par conséquent une partie des résultats et peut limiter les comparaisons entre études.



ANNEXE 2

PRINCIPALES MODÉLISATIONS BOUCLÉES FRANÇAISES

Mésange

Mésange est un modèle macroéconométrique développé en collaboration par l'Insee et la Direction générale Trésor. Il repose sur une petite économie ouverte où les agents (ménages, entreprises et administrations publiques) sont modélisés dans leurs comportements de consommation, d'investissement, de détermination des prix et des salaires, dans une approche néo-keynésienne (comportements de demande prédominants à court terme et ceux d'offre à long terme). L'évaluation de l'impact macroéconomique de l'introduction d'une taxe carbone consiste en une hausse de la fiscalité énergétique. Cet impact est négatif pour l'économie en l'absence de redistribution des recettes supplémentaires aux ménages et/ou aux entreprises. À court terme, la taxe carbone représente une hausse des coûts pour les entreprises et donc une baisse de leur marge. Pour les ménages, la taxe carbone représente également une hausse du prix de l'énergie et se traduit par une baisse de leur consommation totale. À moyen terme, la hausse des prix et des salaires dégrade la compétitivité de l'économie française. Côté importations toutefois, la baisse de demande induite par le caractère récessif de la taxe entraîne une amélioration de la balance commerciale. Par ailleurs, on observe une adaptation des comportements des ménages et des entreprises avec une diminution de la consommation d'énergie.

ThreeME

ThreeME est un modèle conçu par l'Ademe et l'OFCE. Il est de type néo-keynésien (les entreprises sont contraintes par la demande) et multisectoriel (trente-sept secteurs, dont dix-sept producteurs d'énergie et cinq de transports). Il s'agit d'un modèle « hybride », ce qui garantit la cohérence des consommations énergétiques (via une modélisation technicoéconomique des arbitrages énergétiques des consommateurs et des entreprises).

Sur l'emploi, ThreeME montre que la transition écologique a des effets positifs dans la majorité des scénarios mais nécessite des réallocations intrasectorielles (par exemple, au sein des secteurs de l'énergie, des fossiles vers les énergies renouvelables, ou au sein du BTP pour passer de la construction à la rénovation) mais aussi intersectorielles (à l'exception du ferroviaire qui est relativement stable, l'ensemble des secteurs des transports connaîtrait une baisse marquée des effectifs ; *a contrario*, le tertiaire présenterait de forts besoins de recrutement). Toutefois, actuellement, les résultats de ThreeME sur les créations/destructions d'emplois d'un secteur ne tiennent pas compte des frictions sectorielles pouvant exister, notamment certains goulets sur la main-d'œuvre liés à un manque de compétences ou d'attractivité. Il convient donc de coupler à ces résultats quantitatifs des études plus qualitatives et sectorielles permettant d'évaluer la faisabilité des mutations modélisées.

Imaclim

Imaclim est un modèle développé par le Cired (UMR CNRS 8568) pour l'évaluation des politiques climatiques et énergétiques. Imaclim se caractérise par son approche de modélisation « hybride » visant à réconcilier représentations des sciences économiques et des sciences de l'ingénieur des transformations de l'économie ; et par sa versatilité en matière de paradigme économique, puisqu'il peut, au choix du modélisateur (guidé par le terme temporel de l'exploration et le degré de réglementation de chaque marché modélisé), s'écarter du paradigme néoclassique de marchés « parfaits » équilibrés par le libre jeu des prix, et explorer des clôtures macroéconomiques alternatives. Pour la France, le modèle existe dans une version statique notamment mise en œuvre en soutien aux travaux de la commission Rocard sur l'établissement d'une fiscalité carbone (2009) et pour l'évaluation de la SNBC 2 ; et dans une version dynamique récursive Bibas et Hourcade, 2013¹). Ces deux versions ont en commun une modélisation keynésienne du marché du travail limitant les possibilités d'ajustement des salaires afin de refléter les contraintes réglementaires spécifiques à ce marché. Une corrélation inverse entre salaire moyen réel et taux de chômage d'équilibre est ainsi représentée par le biais d'une courbe salaire-chômage. Cependant l'un comme l'autre modèle ne spécifient aucune inertie à l'allocation sectorielle de l'emploi, qui s'effectue donc en seule fonction de l'évolution du niveau d'activité des secteurs représentés. L'accélération des transitions envisagées rend une telle flexibilité de moins en moins tenable. Des travaux sont en cours, en collaboration avec le CGDD, afin de proposer des modélisations capturant les inerties actuellement non représentées.

¹ Bibas R. et Hourcade J.-C. (2013), « Transitions énergétiques en France. Enseignements d'exercices de prospective – Contribution au débat national sur la transition énergétique », Cired, document de travail n° 51-2013.

Nemesis

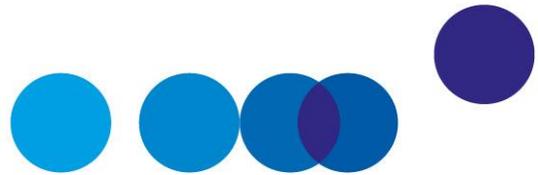
Nemesis est une modélisation macrosectorielle permettant d'anticiper les créations/destructions d'emplois dans un scénario de référence et dans un scénario alternatif « bas carbone » qui atteint les objectifs de décarbonation à 2030 pour la France (« Métiers 2030 » réalisés par la Dares et France Stratégie). Il a été développé initialement par le laboratoire Erasme de l'École centrale. Il s'agit d'un modèle calibré économétriquement qui repose sur une série d'hypothèses conventionnelles (population active, productivité sectorielle, taux de chômage de long terme, environnement international). Le scénario bas carbone ajoute à ces hypothèses un investissement additionnel correspondant aux budgets carbone identifiés pour atteindre la décarbonation de l'économie. Ces investissements sont partiellement financés par l'emprunt et encouragés par des prix défavorables aux biens carbonés. À partir des projections d'emploi par secteurs et niveaux de diplôme, une matrice secteurs/métiers est construite, qui prolonge la tendance de recrutement des métiers par les activités économiques. Cette part tendancielle est ensuite appliquée aux projections sectorielles. Il en résulte des projections d'emploi par métier. Le « métier » ici fait référence aux 87 familles professionnelles présentes dans la nomenclature Dares.

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC)

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) s'appuie sur un scénario d'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050. Elle se fonde sur des exercices de modélisation prospective, élaborée sur la base des connaissances actuelles (sans faire de paris technologiques) pour permettre de définir un chemin crédible de la transition écologique, d'identifier les verrous technologiques et d'anticiper les besoins en innovation.

Le scénario NégaWatt

Le scénario NégaWatt est une modélisation réalisée par l'association du même nom, regroupant des professionnels de l'énergie et des citoyens. Ce scénario repose une modélisation complète du système énergétique. Il est construit sur la base d'hypothèses décrivant l'évolution des différents postes de consommation et filières de production. L'évaluation de ses impacts socioéconomiques (sur l'emploi) et environnementaux est réalisée *a posteriori*.



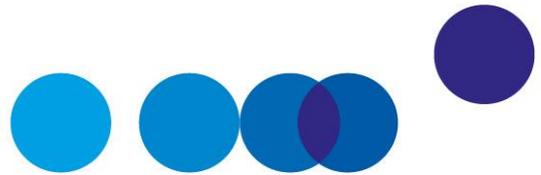
BIBLIOGRAPHIE

- Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant, agir pour le climat*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, rapport.
- Anses (2018), *Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs*, avis de l'Anses saisine n° 2013-SA-0216, rapport d'expertise collective, janvier.
- Arquié A. et Grjebine T. (2023), « *Vingt ans de plans sociaux dans l'industrie : quels enseignements pour la transition écologique ?* », *La lettre du CEPII*, n° 435, mars.
- Aubert P.-M., Gardin B. et Alliot C. (2021), *Vers une transition juste des systèmes alimentaires. Enjeux et leviers politiques pour la France*, IDDRI et BASIC, rapport, mars.
- Autor D. H., Dorn D. et Hanson G. H. (2013), « *The China syndrome: Local labor market effects of import competition in the United States* », *American Economic Review*, vol. 103(6), octobre, p. 2121-2168.
- Bergant K., Mano R. et Shibata I. (2022), « *From polluting to green jobs: a seamless transition in the U.S.?* », Fonds monétaire international, IMF Working Papers, juillet.
- Bibas R. et Hourcade J.-C. (2013), « *Transitions énergétiques en France. Enseignements d'exercices de prospective – Contribution au débat national sur la transition énergétique* », Cired, document de travail n° 51-2013.
- CAS (2012), *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone*, Centre d'analyse stratégique, rapport du comité présidé par Christian de Perthuis.
- Cisilino F. et Madau F. A. (2007), « *Organic and Conventional Farming: a Comparison Analysis through the Italian FADN* », présentation au 103^e séminaire EAAE « *Adding Value to the Agro-Food Supply Chain in the Future Euromediterranean Space* », Barcelone, 23-25 avril 2007.
- Deboutière A. et Georgeault L. (2015), « *Quel potentiel d'emplois pour une économie circulaire ?* », Institut national de l'économie circulaire, étude bibliographique.
- Deloitte (2021), *Le redéploiement industriel, un enjeu social, économique et un instrument de maîtrise de notre empreinte carbone. Étude d'impact de la désindustrialisation sur l'empreinte carbone de la France*, rapport final, janvier.
- Diagne M., Lecoœur M. et Margontier S. (2022), « *Les opérateurs de compétences au défi de la transition écologique* », France Stratégie et CGDD, note de synthèse, juillet.

- Energy Transition Institute (2021), *UK Offshore Energy Workforce Transferability Review*.
- Falck O., Czernich N. et Koenen J. (2021), *Auswirkungen der vermehrten Produktion elektrisch betriebener Pkw auf die Beschäftigung in Deutschland*, IFO Institut.
- FMI (2022), *Perspectives de l'économie mondiale*, chapitre 3 « Un marché du travail plus vert : emploi, politiques et transformation économique », Fonds monétaire international, avril.
- Fondation Nicolas Hulot et CFDT (2021), *Automobile, comment relever le défi d'une transition juste ? Notre scénario pour l'emploi et le climat*, juin.
- Forget V., Hérault B., Depeyrot J.-N., Mahé M., Midler E., Hugonnet M. et Beaujeau R. (2019), « *Actif'Agri : transformations des emplois et des activités en agriculture* », Centre d'études et de prospective, *Analyse*, n° 145, novembre.
- France Stratégie et Dares (2023), *Les Métiers en 2030. Quelles perspectives de recrutement en région ?*, rapport, janvier.
- France Stratégie et Dares (2022), *Les Métiers en 2030. Quels métiers en 2030 ?*, rapport du groupe Prospective des métiers et qualifications, mars.
- France Stratégie, Céreq, Ademe et ministère de la Transition écologique (2021), « *Identifier et accompagner les compétences de la transition écologique* », synthèse du cycle 2020 de webconférences, juillet.
- France Stratégie (2020), *Les politiques industrielles en France. Évolutions et comparaisons internationales*, rapport à l'Assemblée nationale, novembre.
- Fraunhofer IAO (2019), *ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland*.
- Füllemann Y., Moreau V., Vielle M. et Vuille F. (2020), « *Hire fast, fire slow: the employment benefits of energy transitions* », *Economic Systems Research*, vol. 32(2), p. 202-220.
- Green Jobs Taskforce (2020), *Report to Government, Industry and the Skills sector*.
- Hafstead M. A. C., Robertson C. W. et Yunguang C. (2022), « *Environmental policy, full-employment models, and employment: a critical analysis* », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 9(2), mars, p. 199-234.
- Havet N., Bayart C. et Penot A. (2022), « *La pénibilité au travail dans les professions de l'économie verte : les enseignements des enquêtes SUMER 2010-2017* », in Havet N. (dir.), *Disparités d'exposition aux facteurs de pénibilité en milieu professionnel et inégalités sociales de santé*, Dares, rapport d'études n° 31, août, p. 141-164.
- Hille E. et Möbius P. (2019), « *Do energy prices affect employment? Decomposed international evidence* », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 96, juillet, p. 1-21.
- Hocquelet M. et Mahlaoui S. (2022), « *Une écologisation à deux visages dans le commerce : répondre aux attentes de la clientèle et la sensibiliser aux nouvelles normes de production* », Cereq, document de travail, septembre.
- IEA (2021), *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*, Agence internationale de l'énergie, version révisée (4^e éd.), octobre.

- Inddigo et Vertigolab (2020), *Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France*, rapport, coll. « Les dossiers de la DGE ».
- Inrae (2020), « *Pratiques agroécologiques et emploi en agriculture* », Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, dossier publié le 27 juillet.
- INSPQ (2021), *Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation*, Institut national de santé publique du Québec, mars.
- Jolly C. et Douillard P. (2016), « *L'économie circulaire, combien d'emplois ?* », France Stratégie, *La Note d'analyse*, avril, n° 46.
- Jouzel J. (2022), *Sensibiliser et former aux enjeux de la transition écologique et du développement durable dans l'enseignement supérieur*, rapport remis à Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, février.
- Lainé F. et Matus M. (2022), « *Recrutement, compétences et transition écologique : des enjeux qui se polarisent sur quelques secteurs* », *Éclairages et synthèses*, n° 72, Pôle emploi, juin.
- Malgouyres C. (2016), « *The impact of Chinese import competition on the local structure of employment and wages: Evidence from France* », Banque de France, document de travail n°603, septembre.
- Marin G., Vona F. et Consoli D. (2019), « *Measures, drivers and effects of green employment: evidence from US local labor markets, 2006-2014* », *Journal of Economic Geography*, vol. 19(5), septembre, p. 1021-1048.
- Massis D. et Hild F. (2016), « *La pratique de l'agriculture biologique créatrice d'emploi ? Une évaluation de l'impact du bio sur la quantité de travail agricole* », *Agreste – Les Dossiers*, n° 35, juillet.
- McKinsey & Company (2021), « *Réussir la transition de l'Europe vers la neutralité carbone. L'objectif « net-zéro », un enjeu exigeant mais atteignable* », juillet.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020), *Stratégie nationale bas-carbone*, rapport d'accompagnement, mars.
- Ministère de la Transition écologique (2019), « *Feuille de route pour l'économie circulaire Cinquante mesures pour une économie 100 % circulaire* », septembre.
- Morgan J. et Mitchell P. (2015), « *Opportunities to tackle Britain's labour market challenges through growth in the circular economy* », Green Alliance et WRAP, janvier.
- Niang M., Chartier F. et Lainé F. (2022), « *Les tensions sur le marché du travail depuis 2021. Au plus haut niveau depuis 2011* », Dares/Pôle emploi, *Dares Résultats*, n° 45, septembre.
- OCDE (2016), *Pratiques de gestion des exploitations agricoles favorisant la croissance verte*, Paris, Éditions de l'OCDE, coll. « Études de l'OCDE sur la croissance verte ».
- Orée (2022), « *Développer l'emploi et les compétences grâce à l'économie circulaire* », livret, collection « Économie circulaire et création de valeur », n° 5.

- Ouvrard J.-F. (2015), « [L'analyse macroéconomique de la transition énergétique : difficile mais indispensable](#) », *Revue d'économie financière*, n° 117, p. 63-73.
- Ouvrard J.-F. et Scapecchi P. (2014), « [Une grille d'analyse des évaluations des impacts macroéconomiques de la transition énergétique](#) », Coe-Rexecode, document de travail n° 48, mai.
- Parisot L. (2019), *Plan de programmation des emplois et des compétences. Mission de préparation*, rapport, février.
- Payen A. (2020), « [Quels impacts de la baisse de la consommation de viande sur l'agriculture française ? Simulations avec le modèle MAGALI 2](#) », Centre d'études et de prospective, *Analyse*, n° 149 ; février.
- PFA (2021), *Feuille de route de la filière automobile à l'horizon 2030. Réussir la transition énergétique et digitale*, travail réalisé sous l'égide du CSF Automobile, avec l'aide de McKinsey & Company, octobre.
- Popp D., Vona F., Marin G. et Chen Z. (2020), « [The employment impact of green fiscal push: evidence from the American Recovery Act](#) », National Bureau of Economic Research, Working Paper 27321, juin.
- Prusak L. (2022), « [Adaptation au changement climatique : quels enjeux en matière de gestion des ressources humaines ?](#) », AEF Info, dépêche n° 683815, décembre.
- RTE (2022), *Futurs énergétiques 2050*, rapport complet, juin.
- SDES (2021), « [Métiers verts et verdissants : près de 4 millions de professionnels en 2018](#) », article de S. Margontier, mis en ligne le 20 décembre.
- Secafi (2021), *Étude prospective sur l'évolution de l'emploi dans le secteur aéronautique et l'aérien en France*, rapport réalisé pour le compte du Réseau Action Climat et de Transport & Environment, septembre.
- The Shift Project (2021a), *L'Emploi. Moteur de la transformation bas carbone*, rapport final, décembre.
- The Shift Project (2021b), *Décarboner la Santé pour soigner durablement*, rapport, novembre.
- Vona F. (2017), « [La transition énergétique : contrainte ou opportunité pour la croissance et l'emploi ?](#) », OFCE Policy Brief, n° 15, avril.
- Walker W. R. (2013), « [The transitional costs of sectoral reallocation: evidence from the Clean Air Act and the workforce](#) », *The Quarterly Journal of Economics*, p. 1787-1835.
- Yamazaki A. (2017), « [Jobs and climate policy: evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 83, mai, p. 197-216.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaire de rédaction

Gladys Caré

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

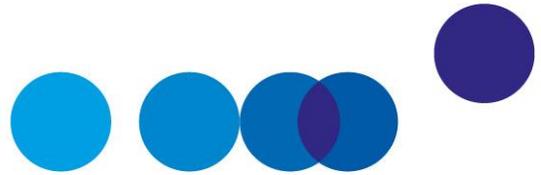
Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de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

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Marché du capital

Rapport thématique

Pierre-Louis Girard (coord.)



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Marché du capital

Rapport thématique

Coordinateur

Pierre-Louis Girard (Direction générale du Trésor)

Riyad Abbas (Insee), Romain Schweizer (France Stratégie)
et Jérôme Trinh (Direction générale du Trésor)

MAI 2023


FRANCE STRATÉGIE


**MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE,
DES FINANCES
ET DE LA SOUVERAINETÉ
INDUSTRIELLE ET NUMÉRIQUE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale
du Trésor

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

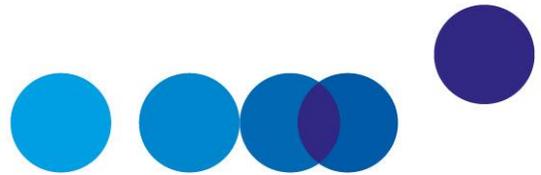
Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré à l'impact de la transition climatique sur le marché du capital était placé sous la direction de Pierre-Louis Girard (Direction générale du Trésor), en collaboration avec Riyad Abbas (Insee), Romain Schweizer (France Stratégie) et Jérôme Trinh (Direction générale du Trésor).

Il a bénéficié des commentaires et de l'expertise des contributeurs suivants : Louis Daumas (Cired) ; Nicolas Carnot, Matthieu Lequien, Alain Quartier-la-Tente et Sébastien Roux (Insee) ; Willy Bréda, Benoît Campagne, Maël Forcier, Stéphanie Jallet, Thomas Kergonou Jimenez, Antoine Leclercq et Jules Parolin (Direction générale du Trésor).



SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	7
Chapitre 1 – Définitions du concept de capital échoué	9
1. Quels actifs et secteurs sont concernés par le risque de capital échoué ?	9
2. Les déterminants de la formation de capitaux échoués.....	12
Chapitre 2 – Méthodes d'évaluation de la valeur économique des capitaux physiques échoués	17
1. Méthode de l'inventaire permanent.....	17
2. Méthode des flux de trésorerie actualisés	18
3. Méthode des tableaux d'entrées-sorties.....	20
Chapitre 3 – Estimations du montant de capital physique échoué	21
1. Études multisectorielles	23
2. Industries extractives d'énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon).....	25
3. Éléments comparatifs sur l'ampleur des actifs exposés au risque d'obsolescence accéléré entre la France et l'Allemagne.....	27
Chapitre 4 – Actifs financiers exposés au risque de transition	29
1. Impacts de la transition écologique sur la situation financière des agents institutionnels	29
2. Canaux de transmission et tentatives de chiffrage du risque d'échouage d'actifs financiers.....	30

Chapitre 5 – Évaluations *ex ante* de l'impact macroéconomique d'une obsolescence accélérée d'une partie du stock de capital.....35

- 1. Revue des mécanismes de transmission au niveau macroéconomique 35**
- 2. Intégration du capital échoué dans les modèles macroéconomiques..... 37**
- 3. Quelle élasticité de substitution entre facteurs de production retenir ? 40**

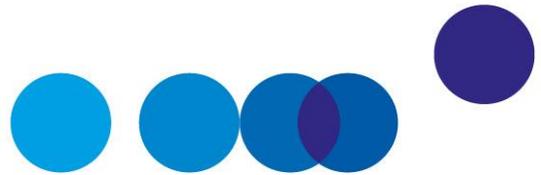
Conclusion et recommandations 43

ANNEXES

**Annexe 1 – Présentation du modèle-jouet de l'Insee pour étudier le capital échoué
dans le cadre de la transition écologique..... 47**

Annexe 2 – Revue des élasticités de substitution..... 59

Bibliographie..... 61



SYNTHÈSE

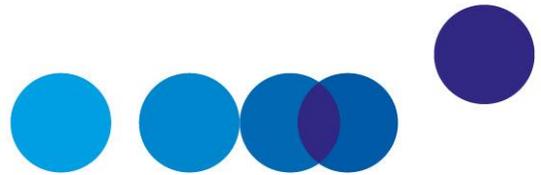
Le marché du capital est principalement exposé à un risque de capital échoué. De façon générale, ce concept désigne une perte de valeur significative, potentiellement irréversible, du stock de capital, physique, immatériel et humain d'une part, productif et résidentiel d'autre part. Par ailleurs, les capitaux échoués risquent d'entraîner une dévalorisation des actifs financiers sous-jacents, pouvant toucher l'ensemble des agents institutionnels (ménages, entreprises, banques, institutions financières, administrations publiques). Ce risque de capital échoué est provoqué par la transition écologique (en lien avec le déclassement de capitaux carbonés ou mobilisés par des secteurs à fortes émissions carbonées), mais également par le changement climatique (du fait notamment d'événements climatiques extrêmes entraînant des destructions de capitaux) non abordé ici.

Les évaluations existantes des montants de capital échoué ont majoritairement porté sur le secteur de l'extraction d'énergies fossiles en lien avec le risque de transition, mais ont négligé les autres secteurs pouvant également être exposés, à savoir l'agriculture, les industries manufacturières, la production d'électricité à partir d'énergies fossiles, la construction, le secteur immobilier, les transports et, dans le cas plus spécifique de la France, le tourisme, ainsi que les risques climatiques.

À partir de l'étude réalisée par l'Irena en 2017, *a priori* la plus complète en matière de secteurs couverts, le flux annuel de capital productif dévalué au niveau mondial pourrait s'élever à 0,5 point de PIB 2019 en cas de transition ordonnée et à 1 point de PIB en cas de transition retardée à 2030. Le choc toucherait les secteurs du bâtiment, de l'extraction d'énergies fossiles et, plus marginalement, de l'industrie et de la production d'électricité à partir des énergies fossiles. Au niveau de l'Union européenne, le choc serait respectivement de 1 à 2 points de PIB et il toucherait quasi exclusivement les secteurs du bâtiment. Néanmoins, ces chiffrages restent incertains : ceux-ci sont largement conditionnés par les méthodes de chiffrage retenues et, plus largement, le risque de capital échoué dans les secteurs de la construction et résidentiel ainsi que les conséquences macroéconomiques sous-jacentes restent difficilement appréciables. En outre, ce travail permet de souligner la nécessité de mettre en place une stratégie de décarbonation crédible de moyen-long terme, de sorte à donner suffisamment de visibilité aux agents économiques.

En matière d'implications financières, les évaluations cherchent à quantifier la part du stock actuel d'actifs financiers exposés au risque de transition, et portent de nouveau majoritairement sur le secteur des énergies fossiles. Les résultats de ces travaux sont relativement convergents, mais très incertains : le stock d'actifs financiers exposés est évalué autour de 8 % du PIB, pour l'ensemble du monde, comme pour les États-Unis et pour l'Union européenne. Pour la France, 5 % à 6 % du stock de crédits dans les secteurs de la construction, de l'immobilier, de la production électrique et des commerces sont exposés au risque de transition.

D'un point de vue théorique, une obsolescence accélérée du stock de capital pourrait se traduire par un renchérissement du coût du capital et par un surplus d'investissement pour compenser la perte de capital, avec un risque d'effet d'éviction sur la consommation et les autres investissements. Les évaluations *ex ante* de l'impact macroéconomique d'une obsolescence accélérée d'une partie du stock de capital, dans lesquelles ce choc est généralement modélisé par une hausse du taux de dépréciation du stock de capital ou une baisse du taux d'utilisation du capital, font état d'un impact négatif sur l'activité et l'emploi.

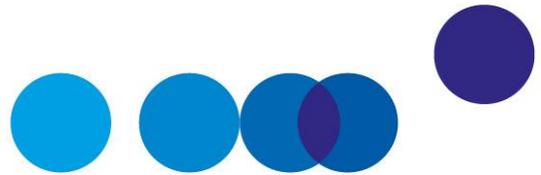


INTRODUCTION

La transition écologique implique une réallocation intersectorielle et infrasectorielle des facteurs de production, travail et capital – qui, pour ce dernier, n'a fait l'objet que de peu d'études. Les conclusions des travaux existants pour l'emploi peuvent être mobilisés pour en inférer l'ampleur. Ainsi, le FMI (2022)¹ insiste sur le fait que ces réallocations seraient contenues sectoriellement, des entreprises/secteurs à forte intensité carbone (la production d'énergies fossiles, par exemple) vers ceux décarbonés (comme les énergies renouvelables) ou contribuant à la décarbonation de l'économie (notamment la construction).

En outre, la réallocation portant sur le capital touchera en premier lieu le stock d'actifs financiers (recomposition des portefeuilles des investisseurs et des banques) et les flux d'investissements en capital physique, pour lesquels une distinction entre bruts et nets doit être faite au niveau agrégé. La substitution de capital aux énergies fossiles, induite par la transition écologique, implique une forte augmentation des besoins d'investissements en décarbonation, dits bruts. Toutefois, les effets de recomposition (des secteurs à forte intensité capitalistique et carbone vers des secteurs intensifs en emploi), le bouclage macroéconomique et les rigidités sur la réallocation des facteurs de production font que l'évolution nette de l'investissement est *a priori* indéterminée. L'évolution du stock de capital physique installé, aux niveaux agrégé et sectoriel, est largement conditionnée par une double contrainte de faisabilité de conversion (d'actifs carbonés à décarbonés) et de rentabilité. Dès lors que l'actif ne peut pas être converti pour un autre usage économique, il risque d'être considéré comme un actif dit échoué, ce qui constitue un des principaux risques pour le marché du capital.

¹ FMI (2022), « [A Greener Labor Market: Employment, Policies, and economic transformation](#) », chapitre 3 du *World Economic Outlook: War Sets Back the Global Recovery*, avril.



CHAPITRE 1

DÉFINITIONS DU CONCEPT DE CAPITAL ÉCHOUÉ

1. Quels actifs et secteurs sont concernés par le risque de capital échoué ?

Le concept de capital échoué désigne tout capital installé dont la valeur économique diminue de façon potentiellement irréversible et plus rapidement que sa dépréciation comptable théorique, du fait :

- de la transition écologique : la décarbonation de l'appareil production conduit à substituer des technologies à faible émission en gaz à effet de serre (GES) à des technologies à forte émission de sorte que la valeur de ces dernières diminue ;
- du changement climatique : la matérialisation d'événements climatiques extrêmes entraîne la destruction de capital dans les zones géographiques exposées, ainsi qu'une réduction des investissements, conduisant à une diminution de la valeur actuelle du stock.

Pour les risques liés à la transition écologique, les catégories de capital productif suivantes peuvent être distinguées, selon qu'il s'agit 1) de technologie à forte émission en GES ou 2) de capital reposant sur une utilisation intensive de ce type de technologie.

- Au sein des immobilisations corporelles :
 - les bâtiments et infrastructures, avec, du côté des ménages, les passoires thermiques non rénovées qui devraient être progressivement interdites à la location et/ou à la vente (en particulier pour les plus petites surfaces dont la taille est proche de la limite légale pour la location, pour lesquelles il ne sera matériellement pas possible de les isoler), et, du côté des entreprises, tout bâtiment utilisé pour produire un bien carboné (usines de véhicules thermiques, raffineries, centrales de production électrique à partir d'énergies fossiles, etc.) ou complémentaire à ce type de bien (une station essence, par exemple), qui pourrait ne pas être reconverti en vue d'une production décarbonée ;

- les machines et biens d'équipement, intervenant dans la production de biens carbonés (les machines utilisées pour produire les véhicules thermiques, les appareils d'extraction d'énergies fossiles, etc.) et utilisés par les ménages (le chauffage au fioul, par exemple) ;
 - les transports, avec en premier lieu les véhicules thermiques (du fait, par exemple, de la mise en place de zones à faibles émissions dans les villes qui en interdit l'accès pour les véhicules les plus polluants, ou de l'interdiction de leur vente dans l'Union européenne après 2035).
- Au sein des immobilisations incorporelles :
 - les brevets relatifs à des technologies à fortes émissions de GES (dans l'agriculture pour des pesticides par exemple, dans l'extraction d'énergies fossiles et, plus largement, dans la production de tout bien à fortes émissions en GES – comme les brevets relatifs aux véhicules thermiques).

Dans le cas du risque climatique, le stock de capital dans les zones géographiques les plus exposées aux événements climatiques extrêmes (tsunamis, ouragans, tempêtes) dont la fréquence et l'amplitude devraient s'accroître, ainsi qu'à une dégradation permanente de l'environnement (désertification, érosion, inondation, etc.), seront en premier lieu concernés. Au-delà des risques de destruction, la variation des températures – notamment extrêmes, comme les canicules et vagues de froid – pourrait détériorer les actifs physiques (en premier lieu les bâtiments), se matérialisant par une hausse du taux de dépréciation associé. Enfin, le changement climatique, avec l'évolution des conditions météorologiques, aura un impact sur les actifs agricoles en fonction de l'incidence sur les rendements.

Sur la base de cette première classification, les secteurs les plus directement touchés par le risque de capital échoué lié aux deux types de risques (de transition et climatique) seraient les industries extractives d'énergies fossiles, les industries manufacturières, la production d'électricité, la construction, le secteur immobilier et les transports. Les autres secteurs pourraient également être exposés en fonction des effets de réseau et de l'utilisation de ces technologies carbonées comme intrant. Plus spécifiquement, les secteurs de l'agriculture et du tourisme seront exposés au risque climatique.

En parallèle, le risque d'échouage de capitaux productifs touche également le capital humain et les actifs financiers. Sur le premier point, le déclassement des capitaux productifs, voire la disparition de certaines activités associées (la production de véhicules thermiques, l'extraction d'énergies fossiles, etc.), devrait s'accompagner d'un déclassement des compétences des travailleurs directement touchés (les ouvriers qualifiés de l'industrie automobile, par exemple). De plus, la matérialisation du changement climatique risque d'avoir des incidences sur la productivité des travailleurs (l'augmentation de la fréquence, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur touchera ainsi négativement la santé des personnes). Sur le second point, les capitaux échoués risquent

d'entraîner une perte de valeur significative pour les détenteurs (intermédiaires bancaires et financiers, ménages, entreprises, administrations publiques) des actifs financiers sous-jacents (actions, obligations ou crédits des entreprises des secteurs directement exposés).

Il est à noter que le concept de capital échoué est en premier lieu utilisé dans le domaine financier. C'est pourquoi la plupart des articles sur le sujet utilise le terme d'« actif échoué », qui englobe l'ensemble des immobilisations financières (actions, obligations, etc.), corporelles (bâtiment, bien d'équipement, etc.) et incorporelles (brevet, etc.) dont la valeur économique pourrait être significativement réduite du fait des risques de transition et des risques climatiques. Le concept de « capital échoué » relève davantage du champ économique et englobe les différents types d'actifs cités précédemment ainsi que le capital humain (compétences).

Par ailleurs, il est à noter que plusieurs définitions plus fines du capital échoué ont été proposées dans la littérature, en fonction du type d'actifs concernés, des secteurs touchés et des causes. L'Irena (2017)¹ passe en revue les principales définitions du capital échoué qui ont été proposées dans la littérature :

- pour l'AIE (2013)², les capitaux échoués désignent tous les investissements déjà réalisés, dont la rentabilité économique est devenue nulle du fait de changements sur les marchés et/ou dans la régulation, provoqués par le réchauffement climatique ;
- Carbon Tracker Initiative (2015)³ propose la même définition mais en ajoutant le risque de transition (écologique) comme cause supplémentaire ;
- Generation Foundation (2013)⁴ les définit comme des actifs qui perdent de la valeur économique bien avant leur date d'amortissement théorique, du fait de changements dans la régulation, sur les marchés, dans les technologies, de comportements ou environnementaux.

L'Irena ajoute la notion d'irréversibilité dans sa définition du capital échoué. Le concept est défini comme la valeur comptable restante (c'est-à-dire la différence entre la valeur comptable initiale et les dépréciations annuelles successives) d'un capital qui a dû être déclassé de manière irréversible avant la fin de sa durée de vie théorique, du fait de la

¹ Irena (2017), « [Stranded assets and renewables: How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock](#) », Agence internationale pour les énergies renouvelables, Working Paper, juillet.

² AIE (2013), [Redrawing the Energy Climate Map. World Energy Outlook Special Report](#), Agence internationale de l'énergie, juin.

³ Carbon Tracker Initiative (2015), [The \\$2 Trillion Stranded Assets Danger Zone: How Fossil Fuel Firms Risk Destroying Investor Returns](#), rapport, juillet.

⁴ Generation Foundation (2013), « [Stranded carbon assets: Why and how carbon risks should be incorporated in investment analysis](#) », octobre.

transition écologique (pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050), et sans que cette valeur restante ne puisse être récupérée en totalité.

Jackson (2018)¹ complète cette liste de définitions avec Caldecott *et al.* (2013)² et Paun *et al.* (2015)³, pour qui un actif est dit échoué lorsque l'entreprise a enregistré des dépréciations ou des provisions non anticipées ou prématurées (sans discussion des causes).

2. Les déterminants de la formation de capitaux échoués

Jackson (2018) propose une discussion des différents déterminants, interconnectés, de la formation de capitaux échoués :

- **la temporalité des efforts de décarbonation** : une transition désordonnée, retardée et précipitée pour atteindre la neutralité carbone en 2050, dans laquelle les politiques d'atténuation seraient repoussées jusqu'à 2030 avec différentes contraintes sectorielles et internationales, impliquerait des évolutions plus fortes et plus rapides de la demande énergétique par rapport à une transition ordonnée, où les politiques climatiques sont mises en place de façon graduelle, augmentant le stock de capital échoué et son coût économique ;
- **la structure des entreprises touchées** : le choc risque d'être d'autant plus important que l'intensité capitalistique est élevée et que les actifs ont une durée de vie longue et sont difficilement réaffectables (comme dans le secteur de l'extraction et l'acheminement d'énergies fossiles, notamment concernant le pétrole et le gaz naturel) ;
- **la structure des secteurs et les interconnexions économiques** : une modification dans la dynamique concurrentielle entre entreprises d'un secteur donné, ainsi que dans les secteurs situés en amont (coût de production) et en aval (demande adressée) pourrait limiter les capacités d'investissements des entreprises/secteurs touchés, voire conduire à une perte de capital (par exemple, une baisse du prix du baril de pétrole, provoquée par une augmentation de la production par des entreprises/pays dont les coûts de production sont faibles, pourrait contraindre les entreprises dont le coût marginal de production devient supérieur au prix à sortir du marché, notamment si elles anticipent une baisse persistante du prix, et conduire à une dépréciation de leurs actifs – comme pour les fracturations hydrauliques) ;

¹ Jackson A. (2018), « A stock-flow consistent framework for the analysis of stranded assets and the transition to a low carbon economy », thèse de doctorat en environnement et développement durable à l'université de Surrey.

² Caldecott B., Howarth N. et McSharry P. (2013), *Stranded Assets in Agriculture: Protecting Value from Environment-Related Risks*, *Smith School of Enterprise and the Environment*, août.

³ Paun A., Knight Z. et Chan W. S. (2015), « *Stranded assets: what next?* », HSBC Global Research, avril.

- **l'innovation dans l'énergie** : l'émergence de nouvelles technologies peut accélérer le déclassement des capitaux en lien avec les énergies fossiles déjà installés (processus de destruction créatrice) – à titre d'illustration, l'émergence d'une technologie améliorant l'efficacité des énergies renouvelables, ou diminuant leurs coûts d'installation, devrait réduire la demande pour les énergies fossiles, pouvant conduire à la sortie accélérée des entreprises les moins profitables et à la perte de leur capital. Le lien entre innovation et capital échoué est discuté plus en détail dans l'encadré 1 ;
- **un changement de régulation ou de politique économique** : les mesures de réglementation (comme l'interdiction de vente de véhicules thermiques neufs à partir de 2035 dans l'Union européenne) ou la fin des mesures fiscales de soutien aux énergies fossiles auront un impact significatif sur la rentabilité des entreprises et sur le revenu des ménages concernés, avec des effets indirects (*via* le marché des véhicules d'occasion dans le cas de l'exemple précédent) ;

Encadré 1 – Progrès technique et risque de capital échoué

Les changements technologiques entrent souvent dans le périmètre de ce qui est associé aux risques de transition. Le secteur de l'extraction d'énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon) est particulièrement exposé à ce type de risque : il n'est pas soumis à des « cycles de produits » définis dans un temps donné (comme d'autres produits/secteurs où ces cycles peuvent être annuels dans le cadre des smartphones, quinquennaux dans le cas des automobiles, voire décennaux dans le cas des constructeurs d'avion par exemple), mais au contraire quasi illimités. Ainsi, Bonneuil et Fressoz (2016)¹ rappellent que l'histoire énergétique longue présente davantage le profil d'une accumulation que celui d'une succession de transitions. Aussi ce constat suggère-t-il que les entreprises extractives pourraient ne pas être à même de s'adapter sans coûts significatifs à la transition, si les énergies renouvelables venaient à être déployées rapidement².

Il est toutefois nécessaire de tenir compte du fait que, dans la majorité des autres secteurs industriels, les entreprises et les investisseurs internalisent les processus de destruction créatrice, sous la contrainte des évolutions de marché (Thomä *et al.*,

¹ Bonneuil C. et Fressoz J.-B. (2016), *L'Évènement anthropocène. La Terre, l'histoire et nous*, Paris, Éditions du Seuil.

² Il convient néanmoins de rappeler que les entreprises du secteur extractif disposent généralement de capacités financières importantes qui pourraient leur permettre de se redéfinir en tant qu'énergéticiens « généralistes » (fossile et renouvelable) à court terme puis à majorité renouvelables à moyen terme sans dommage majeur pour leur rentabilité ou leur modèle d'affaire.

2017¹). Dans le cadre de la transition écologique, un risque pourrait alors être que les entreprises attendent l'émergence d'une nouvelle technologie plutôt que d'entamer à court terme une décarbonation de leur appareil productif, au risque de voir les technologies mobilisées obsolètes, engendrant un surcoût. Les conclusions de la littérature quant aux stratégies des entreprises face à l'incertitude qui entoure les modalités de la transition suggèrent néanmoins qu'elles pourraient être davantage pro-actives qu'attentistes (Wang, 2022²).

La prise en compte du progrès technique comme potentiel facteur de risque en lien avec la transition exigée par le changement climatique implique donc des analyses fines incorporant cette hétérogénéité intersectorielle. En partant du principe que les entreprises intègrent les nécessaires modifications de leurs pratiques, Thomä *et al.* (2017) proposent de prendre en compte différents éléments comme l'ampleur ou la vitesse du changement auxquelles lesdites entreprises devront s'adapter pour évaluer la facilité d'un secteur à absorber le choc. Ce type d'analyse est utilisé pour déterminer la vulnérabilité ou, à l'inverse, la résilience des entreprises à la transition. Le cabinet Carbon Delta (2019)³ utilise par exemple une évaluation qualitative du portefeuille de brevets d'un certain nombre d'entreprises (établie à partir d'une base de données internationale) pour évaluer leur capacité d'adaptation à la transition.

Par ailleurs, il convient de prendre en compte le fait que les changements technologiques, et plus largement comportementaux et réglementaires, ne se produisent pas depuis un état stationnaire préexistant mais plutôt dans des contextes sociotechniques spécifiques, qui comprennent à la fois un ensemble de tendances ou de transformations, abruptes ou s'inscrivant dans le long terme (démographiques, culturels, etc.). C'est en particulier le cas pour la transition du secteur automobile : l'électrification se fait en parallèle d'un recul des ventes, d'une polarisation du marché, d'une réduction de la place accordée aux voitures dans les villes européennes, etc. Pour représenter au mieux cette complexité, des approches transdisciplinaires autour de concepts tels que les systèmes sociotechniques ont émergé (Geels *et al.*, 2017⁴), en tentant de prendre en compte les multiples dimensions du rôle du progrès technique dans la transition.

¹ Thomä J., Fulton M., Ramirez L., Röttmer N. et Duran M. (2017), « [Changing colors. Adaptive capacity of companies in the context of a transition to a low-carbon economy](#) », 2 °C Investing Initiative, juillet.

² Wang J. (2022), « [Waiting or acting: The effects of climate policy uncertainty](#) », Job Market Paper, septembre.

³ Carbon Delta (2019), « [Modelling the impact of climate change on the financial risk of investments](#) », Finance for the Future.

⁴ Geels F. W., Sovacool B. K., Schwanen T. et Sorrell S. (2017), « [The socio-technical dynamics of low-carbon transitions](#) », *Joule*, vol. 1(3), novembre, p. 463-479.

De plus, le risque de transition dû au progrès technique dépend des politiques de recherche et développement, qui influent sur le processus d'innovation, et celles des droits de propriété intellectuelle (les brevets), qui constituent le cadre institutionnel des incitations à l'innovation et d'accès aux nouvelles technologies. En la matière, il importe de souligner que la puissance publique joue un rôle central : elle est souvent à l'origine de l'émergence d'un signal suffisamment fort pour stimuler l'innovation bas carbone, que ce soit par des approches de soutien à la demande (introduction d'un prix du carbone par des taxes ou un marché de quotas, tarifs préférentiels de rachats de l'électricité d'origine renouvelable, etc.) ou à l'offre (subventions à la R&D, création de pôle de compétitivité, réglementations contraignantes sur les secteurs bruns, etc.).

Par exemple, Calel et Dechezleprêtre (2016)¹ montrent que l'introduction du système d'échange de quotas d'émission au sein de l'Union européenne s'est accompagnée d'une augmentation du dépôt de brevets de la part des entreprises concernées. En outre, l'investissement dans le développement et l'adoption de technologies bas carbone dépend du degré de coopération internationale (Bonnet *et al.*, 2018).

- **un changement dans les conditions de financement** : une réallocation des financements, provoquée par l'évolution des anticipations des investisseurs et des banques, aura un impact sur les perspectives de croissance des entreprises touchées par le risque de capital échoué (les sociétés bancaires et financières anticipant une baisse de la valeur des actifs des entreprises du secteur de l'extraction d'énergies fossiles pourraient par exemple durcir les conditions de financement, voire réduire leurs offres de financement) ;
- **un changement de normes sociales/préférences des ménages et des entreprises** : le déclenchement et la répétition d'événements climatiques extrêmes, ainsi que les politiques de transition écologique, modifieront la structure de la demande adressée au secteur productif concerné (une transition orientée vers davantage de sobriété réduirait la consommation des ménages, de certains biens, voire agrégée, conduisant à la dépréciation d'actifs caractéristiques de la consommation de masse, tels que les supermarchés). Il est toutefois difficile en pratique de distinguer les changements de préférence dus à la transition écologique,

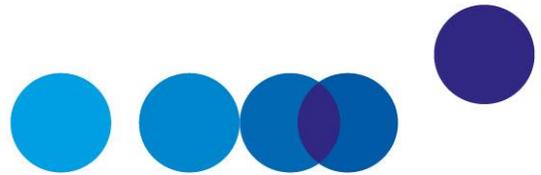
¹ Calel R. et Dechezleprêtre A. (2016), « [Environmental policy and direct technological change: Evidence from the European carbon market](#) », *Review of Economics and Statistics*, vol. 98(1), p. 173-191.

de ceux liés à des évolutions sociétales (c'est notamment le cas les supermarchés aux États-Unis, dont la part diminue dans le commerce, indépendamment des politiques de transition).

Enfin, Caldecott *et al.* (2021)¹ mentionnent **le risque juridique** : des entreprises des secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre pourraient être poursuivies en justice et condamnées pour leur responsabilité dans le changement climatique, les contraignant à devoir passer des provisions importantes, qui réduiraient significativement leurs profits, leur capacité d'investissement, voire pouvant conduire à leur sortie des marchés.

La formation de capital échoué peut ainsi être anticipée, par exemple, dès lors qu'elle relève d'une politique de transition écologique visant à réduire l'usage de technologies carbonées, ou stochastique, en fonction de la matérialisation des effets du changement climatique ou d'innovations technologiques.

¹ Caldecott B., Clark A., Koskelo K., Mulholland E. et Hickey C. (2021), « [Stranded assets: Environmental drivers, societal challenges, and supervisory responses](#) », *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 46, octobre, p. 417-447.



CHAPITRE 2

MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA VALEUR ÉCONOMIQUE DES CAPITAUX PHYSIQUES ÉCHOUÉS

Indépendamment de la méthode utilisée, le montant de capital échoué est systématiquement calculé en comparant deux scénarios, le premier modélisant l'impact de la transition écologique et/ou du changement climatique et le second de référence n'en tenant pas compte.

Trois méthodes principales peuvent être différenciées pour calculer des montants de capitaux échoués. La première consiste à s'appuyer sur la méthode de l'inventaire permanent – majoritairement utilisée pour calculer des stocks de capital – où le stock d'une période donnée est égal à la somme du stock de la période précédente déprécié à un taux constant et des investissements. La deuxième s'appuie sur un modèle généralement utilisé en finance, le modèle des flux de trésorerie actualisés, où la valeur d'un actif à une période donnée est égale à la somme des revenus futurs actualisés qu'il pourra générer. La dernière méthode consiste à recourir à des tableaux multirégionaux d'entrées-sorties pour tenir compte des relations intersectorielles et interrégionales dans le calcul des montants de capital échoué. Les trois sous-parties suivantes détaillent ces trois méthodes.

1. Méthode de l'inventaire permanent

Une première approche, dite comptable, consiste à s'appuyer sur la méthode de l'inventaire permanent, pour calculer de façon *bottom-up* des stocks de capital échoué par type d'actifs et/ou secteur d'activité.

Dans chacun des scénarios, un stock de capital est calculé selon la méthode de l'inventaire permanent, pour chaque actif (bâtiment, bien d'équipement, etc.) et/ou secteur (industrie, construction, etc.) défini au préalable. De façon générale, le stock de capital dans le scénario S , pour l'actif i du secteur j à la période t , noté $K_{i,j,t}^S$, est égal au

stock de la période précédente déprécié à un taux $\delta_{i,j,t}^S$ et augmenté des investissements $I_{i,j,t}^S$, soit formellement :

$$K_{i,j,t}^S = (1 - \delta_{i,j,t}^S)K_{i,j,t-1}^S + I_{i,j,t}^S$$

Les scénarios se différencient par leurs chroniques de taux de dépréciation et/ou d'investissements. Les taux de dépréciation sont généralement calculés en cohérence avec la durée de vie théorique des actifs correspondants dans le scénario de référence et sont ajustés sur la base d'hypothèses visant à atteindre des cibles données dans les scénarios de transition écologique et/ou de changement climatique¹. Les chroniques d'investissements proviennent de modèles technicoéconomiques ou macroéconomiques annexes, en tenant compte des ajustements des taux de dépréciation réalisés selon le scénario considéré. Le montant des capitaux échoués à la période t est calculé comme la différence entre les stocks de capital du scénario de transition écologique/changement climatique, noté TE/CC , et du scénario de référence, noté BAU :

$$CE_{i,j,t} = K_{i,j,t}^{TE/CC} - K_{i,j,t}^{BAU}$$

Le stock de capital échoué, sur une période $[[t_0; T]]$, peut être ensuite calculé en agrégeant sur l'ensemble des actifs et des secteurs, en tenant compte, dans certains cas, d'un taux d'actualisation constant :

$$SCE_t = \sum_{t=t_0}^T \sum_i \sum_j \frac{CE_{i,j,t}}{(1+r)^t}$$

2. Méthode des flux de trésorerie actualisés

Une deuxième approche, davantage mobilisée dans la littérature, vise à utiliser le modèle des flux de trésorerie actualisés, dont les chroniques nécessaires pour le calibrer proviennent de modèles technicoéconomiques et/ou macroéconomiques.

Pour chacun des scénarios, actifs et/ou secteurs considérés, la valeur du stock de capital, à une période t_0 est calculé comme la somme actualisée des revenus générés, $Y_{i,j,t}^S$ au cours de sa durée d'utilisation $T_{i,j}^S$:

$$K_{i,j,t_0}^S = \sum_{t=t_0}^{T_{i,j}^S} \frac{Y_{i,j,t}^S}{\prod_{k=t_0}^t (1+r_k^S)}$$

¹ Par exemple, une interdiction des chaudières au fioul à une date donnée devrait se traduire par une hausse du taux de dépréciation pour que leur valeur soit nulle à cette date.

Dans la grande majorité des articles, le taux d'actualisation r_t^S est supposé constant et indépendant du scénario, soit $r_t^S = r$, de sorte que le coût des capitaux échoués ne dépend que des chroniques des revenus générés et de durées d'utilisation différentes. Les revenus peuvent être calculés à l'aide de deux méthodes, selon que l'on se place dans une approche financière ou économique. Dans le premier cas, ces revenus sont assimilés aux dividendes que le capital/actif peut générer et le modèle se confond avec le modèle de Gordon et Shapiro. La valeur d'un actif est alors égale à la somme de tous les dividendes actualisés futurs, qui sont supposés croître au rythme du taux de croissance du PIB, g^S , dans sa version la plus simple (et généralement utilisée). La durée d'utilisation tend vers l'infini et en notant D_{i,j,t_0} le montant du dividende initial, indépendant du scénario, on a :

$$K_{i,j,t_0}^S = D_{i,j,t_0} \sum_{t=t_0}^{\infty} \left(\frac{1 + g^S}{1 + r} \right)^t$$

La seconde approche, économique, consiste à calculer les profits, comme la différence entre les recettes et les coûts de production, diminuée des investissements. Elle est appliquée à des secteurs produisant majoritairement un bien unique, tels que l'extraction d'énergies fossiles, pour lesquels il est possible d'isoler les flux de revenus générés par les capitaux/actifs associés. On a alors :

$$K_{i,j,t_0}^S = \sum_{t=t_0}^{T_{i,j}^S} \frac{(P_{i,j,t}^S - MC_{i,j,t}^S) Q_{i,j,t}^S - I_{i,j,t}^S}{(1 + r)^t}$$

Où $P_{i,j,t}^S$ désigne le prix du bien, $MC_{i,j,t}^S$ le coût marginal de production, $Q_{i,j,t}^S$ les quantités et $I_{i,j,t}^S$ les investissements.

Dans les deux approches, les différentes variables d'intérêt (taux de croissance du PIB, production, coûts de production, investissement, etc.) proviennent des scénarios construits par les organismes internationaux (par exemple l'AIE pour la production énergétique ou le NGFS pour les variables macroéconomiques). Les calculs peuvent également faire intervenir des modèles technicoéconomiques sectoriels (pour l'énergie, les transports) et/ou macroéconomiques (modèles d'équilibre général calculable, d'évaluation intégrés ou macroéconométriques¹).

¹ Pour une présentation détaillée de ces catégories de modèles, voir Gantois T., Girard P. L. et Le Gall C. (2022), « Évaluation de l'impact macroéconomique de la transition écologique : revue des modèles macro-environnementaux, usages et limites », Direction générale du Trésor, document de travail n° 2022/2, septembre.

Comme pour la première approche, la valeur du montant de capital échoué est égale à la différence entre les stocks de capital des deux scénarios :

$$CE_{i,j,t} = K_{i,j,t}^{TE/CC} - K_{i,j,t}^{BAU}$$

La totalité des travaux présentés ci-dessous porte quasi exclusivement sur le secteur d'extraction d'énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz).

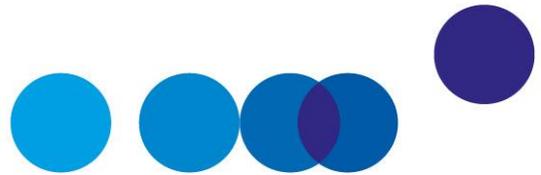
3. Méthode des tableaux d'entrées-sorties

Une troisième approche s'appuie sur les relations intersectorielles et interrégionales pour estimer les effets de propagation le long des chaînes de valeur mondiales.

Cahen-Fourot *et al.* (2021)¹ évaluent l'exposition des systèmes économiques au risque d'échouage du capital physique suite à une réduction de la production et de l'utilisation des combustibles fossiles. Les tableaux d'entrées-sorties du World Input-Output Database (WIOD - Timmer *et al.*, 2015²) détaillant les relations entre 56 secteurs productifs (niveau NACE rev. 2) de 43 pays permettent, par la méthode de la matrice inverse de Leontief, de calculer l'effet d'une réduction de la quantité utilisée d'intrants du secteur du minage et d'extraction des énergies fossiles sur la production de chaque secteur. De manière similaire à la seconde approche, celle-ci relève donc plus de l'exposition des secteurs d'activité que d'une estimation d'un stock de capital échoué. Des coefficients d'intensité capitalistique constants sont ensuite calculés à partir des données de stocks sectoriels de capital renseignés dans le WIOD. En appliquant ces coefficients aux effets marginaux précédents, des « multiplicateurs marginaux d'échouage » sont obtenus, c'est-à-dire l'effet d'une réduction de la quantité utilisée d'intrants du secteur du minage et d'extraction des énergies fossiles sur le stock de capital échoué. Ce chiffrage est toutefois réalisé en équilibre partiel : il ne tient compte ni des possibles ajustements des coefficients d'intensité capitalistique induits par l'obsolescence accélérée, ni des effets de substitution entre type d'énergie et intersectoriels, lesquels pourraient minimiser les résultats. Les auteurs classent ensuite les pays selon différents types d'échouage du capital.

¹ Cahen-Fourot L., Campiglio E., Godin A., Kemp-Benedict E. et Trsek S. (2021), « [Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilization](#) », AFD Research Papers, n° 204, mars.

² Timmer M. P., Dietzenbacher DE., Los B., Stehrer R. et de Vries G. J. (2015), « [An illustrated user guide to the World Input-Output Database: The case of global automotive production](#) », *Review of International Economics*, vol. 23(3), août, p. 575-605.



CHAPITRE 3

ESTIMATIONS DU MONTANT DE CAPITAL PHYSIQUE ÉCHOUÉ

Le tableau 1 page suivante propose une synthèse des principales estimations du montant de capital échoué, majoritairement pour le seul secteur de l'extraction d'énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz), sur la base des deux premières méthodes décrites dans le chapitre précédent. Les résultats peuvent fortement varier d'un article à l'autre :

- Selon que les calculs 1) sont restreints au seul stock de capital actuellement utilisé dont une partie ne pourra pas être récupéré ou 2) intègrent les pertes de revenus d'investissements futurs qui auraient été réalisés en l'absence de transition écologique, réduisant la valeur présente du stock de capital (Baron et Fisher, 2015¹).
- En fonction des trajectoires supposées de prix des capitaux : plus le différentiel de prix entre le scénario de référence et le scénario de transition écologique est important, plus les montants de capital échoué sont élevés.
- En fonction du scénario de référence, qui peut 1) être un sentier de croissance équilibré ne tenant pas compte de la transition écologique ou 2) intégrer des mesures de transition écologique jusqu'à une date donnée (mais ne permettant pas d'atteindre la neutralité carbone).

Pour l'Union européenne, qui est le niveau géographique le plus fin pour lequel des estimations sont disponibles, le montant annuel de capital échoué pourrait être de 1 point de PIB dans le cas d'une transition ordonnée. Le risque porterait quasi entièrement sur le secteur résidentiel.

¹ Baron R. et Fischer D. (2015), « [Divestment and stranded assets in the low-carbon transition](#) », document de référence pour la 32^e table ronde sur le développement durable le 28 octobre 2015, OCDE.

Tableau 1 – Revue des principaux articles empiriques estimant le montant de capital échoué, dû aux risques de transition

Article	Méthode utilisée	Zone géographique couverte	Type de capital considéré	Prise en compte des revenus des investissements non réalisés	Période couverte	Résultats (coût annuel moyen, en \$ 2019)
AIE (2014) ^a	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Non	2014-2035	15 Md\$/an
Nelson et al. (2014)	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles et production électrique	Oui	2015-2035	1 500 Md\$/an
Lewis (2014)	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2013-2035	1 400 Md\$/an
Channel et al. (2015)	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2011-2050	2 500 Md\$/an
Dietz et al. (2016) ^b	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2015-2100	25-1 250 Md\$/an
Liquiti et Cogswell (2016) ^b	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2016-2041	2 300 Md\$/an
					2016-2115	2 500-6 600 Md\$/an
Irena (2017) ^c	Comptable et flux de revenus futurs	Monde	Total	Non	2015-2050	300-1 000 Md\$/an
			<i>Dont extraction d'énergies fossiles</i>			120-360 Md\$/an
		Union européenne	Total			150-310 Md\$/an
			<i>Dont extraction d'énergies fossiles</i>			~0 Md\$/an
Mercure et al. (2018) ^d	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2016-2035	120-670 Md\$/an
Saygin et al. (2019) ^c	Comptable	Monde	Production d'électricité à partir d'énergies fossiles	Non	2016-2050	30-55 Md\$/an
		France				<<1 Md\$/an
Chewprecha et al. (2022)	Flux de revenus futurs	France	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2016-2035	~3 Md\$/an
Hansen (2022) ^b	Flux de revenus futurs	Monde	Extraction d'énergies fossiles	Oui	2020-2040	290-2 580 Md\$/an
		Europe				6-50d\$/an

a) L'AIE ne détaille pas la méthode employée pour calculer le stock de capital échoué, en dehors du fait que l'étude repose sur le modèle technicoéconomique World Energy Model et qu'elle ne tient pas compte des revenus des investissements futurs qui n'ont pas encore été réalisés.

b) L'intervalle des résultats de montants de capital échoué résulte d'hypothèses différentes sur les prix et les quantités d'énergies fossiles produites.

c) La borne basse (respectivement haute) des montants de capital échoué correspond à un scénario de transition ordonnée (respectivement retardée à 2030 et précipitée).

d) L'intervalle des résultats s'explique par des scénarios de transition ordonnée différents.

Note : Les méthodes de calcul des articles diffèrent : les chiffrages originaux ont été réalisés en prix courants ou en prix constants, avec des années de base différentes. Les chiffres dans le tableau et ci-dessous, exprimés en dollars constants, ont été ajustés pour avoir 2019 comme année de référence, afin de faciliter les comparaisons.

Source : travaux des auteurs

1. Études multisectorielles

Irena (2017)¹ mobilise cette approche pour calculer le stock de capital échoué cumulé sur la période 2015-2050, pour 17 zones géographiques², et pour quatre secteurs d'activité.

- **L'industrie**, où les capitaux échoués portent sur les biens d'équipement thermiques industriels, consommant des énergies fossiles. Le stock de capitaux échoués est estimé à partir d'une approche comptable (en fonction d'estimations de la durée théorique d'amortissement, du stock de capital et des dépenses d'investissement).
- **La construction**, qui couvre *a priori* l'ensemble des biens immobiliers (dont les bâtiments industriels). Le stock des actifs échoués est calculé à partir d'une approche comptable (en fonction d'estimations des taux de démolition, de la part des bâtiments consommant des énergies fossiles, des coûts de construction et des investissements).
- **Les activités d'extraction et de production d'énergies fossiles** (charbon, pétrole et gaz). L'estimation des actifs échoués est réalisée à partir d'une approche financière, sur la base de la valorisation des principales entreprises et d'estimations de leurs flux de trésorerie futurs estimés.
- **La production d'électricité à partir d'énergies fossiles** (charbon, pétrole, gaz). Le stock d'actifs échoués est estimé à partir d'une approche comptable (en fonction d'estimations de la durée d'amortissement, du stock de capital et des dépenses d'investissement).

Deux scénarios sont considérés, selon que la transition est réalisée de façon ordonnée ou que la transition est retardée à 2030 – avec, dans les deux cas, une neutralité carbone atteinte en 2050. Un scénario de référence est également construit, où ni la transition écologique ni le changement climatique ne sont pris en compte. Ces scénarios se différencient par les chroniques des variables d'intérêt listées ci-dessus pour chaque secteur (taux de dépréciation, investissements, etc.)

Au niveau mondial, sur la période 2015-2050, le montant annuel moyen de capitaux échoués est estimé autour de 300 milliards de dollars pour le scénario d'une transition ordonnée (resp. 1 000 milliards de dollars pour le scénario d'une transition retardée sur la période 2030-2050), réparti entre 150 milliards de dollars (resp. 510 milliards) pour la construction, 120 milliards de dollars (resp. 360 milliards) pour les activités d'extraction et de production d'énergie fossile,

¹ Irena (2017), « [Stranded assets and renewables: How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock](#) », Agence internationale pour les énergies renouvelables, Working Paper, juillet.

² Union européenne (28 pays), États-Unis, Japon, Chine, Russie, Canada, Arabie saoudite, Australie, Inde, Brésil, Corée du Sud, Turquie, Indonésie, Mexique, Argentine, Afrique du Sud et reste du monde.

30 milliards de dollars (resp. 100 milliards) pour la production d'électricité à partir d'énergies fossiles, et un montant négligeable (resp. 30 milliards de dollars) pour l'industrie.

Au niveau de l'Union européenne (28 pays), conditionnellement aux secteurs retenus dans l'étude, les capitaux échoués concernent quasi exclusivement la construction (99 %), pour un montant total annuel moyen estimé entre 150 et 310 milliards de dollars.

L'évaluation proposée par l'Irena est *a priori* la plus complète actuellement dans la littérature pour estimer les montants de capital échoué en raison de la transition écologique (mais à l'exclusion du risque climatique), en couvrant quatre secteurs. Elle n'est toutefois pas exhaustive, le secteur des transports (véhicules et infrastructures) n'étant par exemple pas couvert. De plus, le fait d'avoir recours à des méthodes d'évaluation différentes peut générer des problèmes de cohérence dans le chiffrage entre secteurs. Dans le cas de l'Union européenne, l'absence de capitaux échoués dans l'industrie et la production électrique peut questionner (aucune explication n'étant fournie).

Le Stockholm Environment Institute (2018) calcule le stock de capital exposé au risque d'obsolescence accélérée, pour les secteurs automobile, textile et de production électrique, pour l'Union européenne (28 pays), à l'horizon 2025. Pour chacun des trois secteurs, une approche *bottom-up* est utilisée avec une identification préalable des principaux actifs exposés, sur la base de laquelle les calculs sont réalisés avec des données comptables et de marché des principales entreprises, et d'hypothèses de prévisions sectorielles et macroéconomiques :

- dans **l'industrie automobile**, le risque porte sur les actifs immobiliers (usines, concessionnaire, etc.), les locations avec option d'achat (*leasing*), les actifs incorporels (brevets, recherche et développement, marque). En 2025, entre 115 et 290 milliards de dollars des actifs seraient exposés ;
- dans **l'industrie textile**, les actifs exposés sont principalement les actifs immobiliers (magasins) et les actifs incorporels (marques). Les auteurs ne donnent pas de chiffrage pour ce secteur du fait de l'incertitude, mais considère qu'une part significative des 400 milliards de dollars de valorisation des entreprises en 2016 de ce secteur est potentiellement exposé ;
- dans **la production électrique**, les actifs exposés sont les actifs corporels (centrales et équipements) et incorporels (*goodwill*), pour un montant compris entre 350 et 600 milliards de dollars en 2025.

2. Industries extractives d'énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon)

La très grande majorité des études identifiées porte sur le secteur des industries extractives d'énergies fossiles, dans la mesure où il est le plus immédiatement exposé aux risques de transition. Les estimations des montants de capital échoué ont quasiment toutes été réalisées à l'aide de la deuxième méthode des flux de trésorerie actualisés. Les données nécessaires pour calibrer la maquette financière sous-jacente (projections de prix, de production et d'investissement en énergies fossiles) ont été obtenues à partir 1) de modèles macroéconomiques (Dietz *et al.*, 2016¹), éventuellement couplés avec des modèles technicoéconomiques sectoriels (Mercure *et al.*, 2018²), 2) de modèles technicoéconomiques seuls (Nelson *et al.*, 2014³), ou 3) des hypothèses du World Energy Outlook de l'AIE (Lewis, 2014 ; Linquiti et Cogswell, 2016 ; Hansen, 2022⁴) ou de travaux similaires (Channell *et al.*, 2015⁵) directement. Ces estimations sont pour la plupart réalisées sur une période allant jusqu'en 2035-2040 pour l'ensemble du monde.

Les résultats obtenus à partir de modèles font état d'un montant annuel moyen de capital échoué compris entre 0 et 1,7 point de PIB. Les travaux directement réalisés à partir des chiffrages de l'AIE ou assimilés donnent un intervalle plus large, de l'ordre de 0,3 point à 7,5 points de PIB de capital échoué chaque année. Ces derniers chiffres doivent être interprétés avec prudence dans la mesure où ils sont calculés en équilibre partiel, sans tenir compte d'un certain nombre d'effet de bouclage. Dans tous les cas, l'exposition directe à ce risque des pays de l'Union européenne, en tant qu'importateurs nets d'énergies fossiles, est quasiment nulle.

¹ Dietz S., Bowen A., Dixon C. et Gradwell P. (2016), « Climate value at risk of global financial assets », *Nature Climate Change*, vol. 6, avril, p. 676-679.

² Mercure J. F., Pollitt H., Viñuales J. E., Edwards N. R., Holden P. B., Chewpreecha U., Salas P., Sognaes I., Lam A. et Knobloch F. (2018), « Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets », *Nature Climate Change*, vol. 8, juin, p. 588-593.

³ Nelson D., Hervé-Mignucci M., Goggins A., Szambelan S. J., Vladeck T. et Zuckerman J. (2014), *Moving to a Low-Carbon Economy: The Impact of Policy Pathways on Fossil Fuel Asset Values*, Climate Policy Initiative, coll. « CPI Energy Transition Series ».

⁴ Lewis M. (2014), « [Stranded assets, fossilised revenues](#) », Kepler Cheuvreux, avril ; Linquiti P. et Cogswell N. (2016), « [The Carbon Ask: Effects of climate policy on the value of fossil fuel resources and the implications for technological innovation](#) », *Journal of Environmental Studies and Sciences*, vol. 6, mai, p. 662-676 ; Hansen T. A. (2022), « [Stranded assets and reduced profits: Analyzing the economic underpinnings of the fossil fuel industry's resistance to climate stabilization](#) », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, avril.

⁵ Channell J., Curmi E., Nguyen P., Prior E., Syme A. R., Jansen H. R., Rahbari E., Morse E. L., Kleinman S. M. et Kruger T. (2015), *Energy Darwinism II: Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth*, Citigroup, août.

Sur la base de la troisième méthode, Cahen-Fourot *et al.* (2021)¹ calculent l'effet d'une réduction de la quantité utilisée d'intrants du secteur du minage et d'extraction des énergies fossiles sur le stock de capital physique total. Dans le cas de la France :

- une réduction d'1 \$ des intrants du secteur fossile mondial échoue 5,90 \$ de capital physique français (sixième rang mondial pour l'échouage total) ;
- une réduction d'1 \$ des intrants du secteur fossile français échoue 2,50 \$ de capital physique mondial (premier rang mondial pour l'échouage externe) ;
- une réduction d'1 \$ des intrants du secteur fossile des 42 autres pays échoue 1,80 \$ de capital physique français (douzième rang mondial pour l'exposition externe).

Quelques limites peuvent être mises en avant. Plusieurs pays extracteurs d'énergie fossiles ne sont pas dans les données (les pays de l'OPEP et l'Afrique du Sud, par exemples), ce qui tend à surestimer le poids des pays considérés dans les secteurs des combustibles fossiles. Le niveau de nomenclature NACE rev. 2 ne permet pas une séparation fine des types de capitaux (machines vs logements). De plus, l'hypothèse de linéarité entre production et stock de capital impliquée par l'utilisation de coefficients sectoriels d'intensité capitalistique omet de possibles effets d'échelle. Enfin, dans l'intérêt d'une étude d'impact macroéconomique nationale, les effets domestiques ne sont pas détaillés, c'est-à-dire l'effet de la réduction d'un dollar des intrants du secteur fossile français sur le stock de capital physique français.

En outre, sur la base d'un chiffrage de montants de capital échoué réalisé à l'aide de modèles macroéconomique et technicoéconomiques sectoriels, Semieniuk *et al.* (2022) en calculent la répartition par pays, selon deux classifications : en cinq grandes catégories d'agents nationaux (administrations publiques, ménages, investisseurs, banques et autres indéterminés) et en sept catégories d'agents financiers (fonds administrés, créanciers, banques, assurance, *private equity*, pensions auto-gérées, autres). Les calculs s'appuient également sur une base de données cartographiant géographiquement les entreprises productrices de pétrole et de gaz et de leur structure de capital. Dans le cas de la France, le coût annuel moyen est estimé à environ 3 milliards de dollars (à la différence du premier article, les effets indirects sont capturés) sur la période 2016-2035. Selon la première classification, la quasi-totalité de ce coût porte sur la catégorie d'agent « autres indéterminés », tandis qu'avec la seconde, le coût est supporté pour plus de la moitié par des fonds administrés, et pour un autre quart par les banques.

¹ Cahen-Fourot L., Campiglio E., Godin A., Kemp-Benedict E. et Trsek S. (2021), « [Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilization](#) », AFD Research Papers, n° 204, mars.

3. Éléments comparatifs sur l'ampleur des actifs exposés au risque d'obsolescence accéléré entre la France et l'Allemagne

Cette section propose des éléments permettant d'apprécier le montant d'actifs potentiellement exposés au risque d'obsolescence accélérée en France et en Allemagne. Une approche *bottom-up*, reposant sur une identification préalable des secteurs et des actifs exposés à partir de laquelle les calculs sont réalisés grâce à des données relatives aux volumes et aux prix, est utilisée. Les secteurs couverts sont l'immobilier résidentiel, les transports et la production électrique. Il s'agit *a priori* des secteurs les plus exposés au risque de capital échoué pour ces deux pays (Irena, 2017¹). D'autres secteurs pourraient également être concernés, tels que l'agriculture, l'industrie de production automobile ou le réseau gazier, pour lesquels cependant les données sont insuffisantes pour apprécier le risque ou le choc sera d'ampleur moindre. En outre, les données présentées ne sont pas nécessairement comparables entre les deux pays, du fait de l'absence de normes et règles comptables communes (notamment pour le logement).

Pour la France, dans le secteur immobilier résidentiel, 14 % des logements sont considérés comme très énergivores² (étiquettes F et G du diagnostic de performance énergétique - DPE) et font l'objet d'une interdiction à la location progressive de 2023 à 2028, en l'absence de rénovation énergétique. S'ajoutent également les logements E, représentant 18 % du parc immobilier résidentiel, qui seront concernés par cette interdiction à la location à partir de 2034. En outre, 50 % des logements sont équipés de chaudières au fioul ou au gaz, dont l'installation de nouvelles est progressivement interdite depuis 2022³. Le coût total des investissements bruts des rénovations des seuls logements E, F et G pour les rendre décents selon la loi Climat et résilience serait estimé à 240 milliards d'euros⁴, lequel peut par ailleurs être assimilé au

¹ L'Irena souligne le risque de capital échoué pour le secteur des transports, sans pour autant proposer de chiffrage.

² Source : Observatoire national de la rénovation énergétique (ONRE).

³ Le gouvernement a fixé un objectif de sortie des chaudières au fioul d'ici 2028 et une concertation devrait être lancée sur le non-renouvellement des chaudières gaz dans le bâtiment existant.

⁴ Le montant est calculé sur la base d'une analyse statique, à partir du nombre de logements dont l'étiquette est E, F ou G, au 1^{er} janvier 2022 selon l'ONRE multiplié par les coûts de rénovation moyens estimés en 2018 par le Cired. Ces coûts sont notamment ceux retenus dans Criqui P. (2022), *Les coûts d'abattement. Partie 5 – Logement*, rapport de la commission sur les coûts d'abattement, France Stratégie, novembre. Il est ici fait l'hypothèse que les rénovations sont performantes au sens de la loi Climat et résilience. Les logements F et G (respectivement E) sont rénovés pour atteindre l'étiquette C (respectivement B), le coût étant différencié en fonction de l'étiquette initiale. Le calcul ne tient notamment pas compte du fait qu'une partie supplémentaire des logements sera déclassée vers les étiquettes E, F et G par vétusté, ce qui impliquera des investissements supplémentaires pour maintenir ou améliorer l'efficacité énergétique de ces logements. Les calculs ont été réalisés par la Direction générale du Trésor.

montant de capital échoué sous une hypothèse de non-arbitrage. En effet, le coût de l'investissement peut être assimilé à la perte de valeur des logements tant qu'ils ne sont pas rénovés. Ce coût ne tient pas compte des éventuels investissements de rénovation pour les étiquettes DPE supérieures, et pour les autres catégories de bâtiments (notamment dans le tertiaire), ni des coûts échoués liés à un possible décommissionnement anticipé des réseaux de distribution de gaz¹. Par ailleurs, il s'agit d'une borne haute : une partie des investissements sera entreprise indépendamment des mesures d'incitation et d'accompagnement mises en place, minimisant le montant de capital échoué dans le secteur du logement. En matière de production d'électricité, environ 7 % provient d'énergies fossiles (charbon, pétrole ou gaz naturel)². Saygin *et al.* (2019), qui cherchent à évaluer le montant de capital échoué dans la production électrique, estiment le risque quasiment nul pour la France, que la transition soit ordonnée ou retardée et précipitée. Enfin, dans le secteur des transports, 37,3 millions de véhicules thermiques, fonctionnant à l'essence ou au diesel, sont répertoriés sur un total de 38,2 millions de véhicules et sont potentiellement exposés à une perte de valeur provoquée par les risques de transition.

Pour l'Allemagne, dans le secteur immobilier résidentiel, la première réglementation thermique est entrée en vigueur en 1977, de sorte que 68 % des logements qui constituent le parc actuel ont été construits sans respect du moindre critère de performance énergétique³. En particulier, les trois quarts de la consommation de chauffage pour les logements proviennent du gaz naturel et du fioul⁴. En outre, les mesures prises avant 2020, ainsi que les plans d'urgence de rénovation mis en place en 2021 et 2022, n'ont pas permis d'atteindre jusqu'à présent les objectifs de réduction d'émissions carbone assignés à ce secteur par la loi allemande de protection sur le climat (adoptée en 2021). Dans le secteur de la production d'électricité, sur les plus de 200 centrales électriques répertoriées sur le territoire allemand, environ 55 % utilisent des énergies fossiles (charbon, pétrole ou gaz naturel)⁵. La production d'électricité à partir de ces énergies fossiles représente par ailleurs 45 % de la production totale⁶. Saygin *et al.* (2019) calculent que le montant annuel moyen de capital échoué dans le secteur de la production électrique pourrait atteindre jusqu'à 2 milliards de dollars par an dans le cas d'une transition retardée et précipitée à partir de 2030. Enfin, dans le secteur des transports, de manière analogue la France, 45,8 millions de véhicules thermiques, fonctionnant à l'essence ou au diesel, sont répertoriés sur un total de 48,5 millions de véhicules.

¹ Une partie du réseau de distribution de gaz dont la durée d'amortissement est comprise entre trente et quarante-cinq ans est susceptible de ne plus être utilisé du fait de la sortie progressive du gaz pour le chauffage résidentiel et tertiaire.

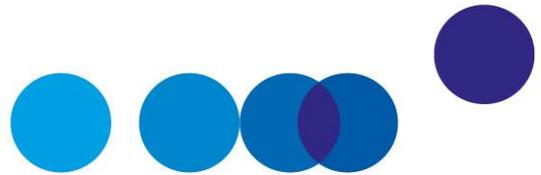
² Source : RTE.

³ Statistisches Bundesamt – OFATE.

⁴ Source : BDEW – association allemande des industries énergétiques et hydrauliques.

⁵ Source : Umweltbundesamt – Bureau fédéral pour l'environnement.

⁶ Source : Agora Energiewende – institut de recherche sur le suivi des politiques climatiques et énergétiques.



CHAPITRE 4

ACTIFS FINANCIERS EXPOSÉS AU RISQUE DE TRANSITION

Les capitaux échoués dans les secteurs productifs et dans le patrimoine des ménages risquent de se traduire par une dépréciation significative des actifs financiers sous-jacents. En outre, les travaux académiques ont d'abord porté sur la matérialisation du risque d'échouage dans la sphère financière, à la suite de l'hypothèse de bulle carbone formulée par Carbone Tracker Initiative (Campanale *et al.*, 2011), selon laquelle une part significative du stock d'énergies fossiles valorisé ne sera effectivement pas exploitée du fait des politiques d'atténuation, pouvant conduire à une très forte dépréciation des actifs des entreprises concernées. La transmission possible de ce risque au secteur financier a par la suite été développée par l'ancien gouverneur de la banque d'Angleterre, Mark Carney¹ (Carney, 2015).

1. Impacts de la transition écologique sur la situation financière des agents institutionnels

Au niveau mondial, toutes les catégories d'agents institutionnels peuvent *a priori* être exposées au risque d'actifs financiers échoués :

- la mise en place de politiques climatiques pourrait ainsi altérer le modèle d'affaires de certaines entreprises, avec un rehaussement significatif des seuils de rentabilité ;
- un renchérissement de l'énergie carboné pourrait dégrader les capacités financières de certains ménages en plus d'impliquer la dévalorisation de certains de leurs actifs (résidences ne répondant plus aux normes d'efficacité énergétique, véhicules thermiques, etc.) (Muldoon-Smith et Greenhalgh, 2019) ;

¹ Dans son discours, Mark Carney distingue les risques de transition des risques physiques. Seul le risque de transition est ici considéré, les risques physiques sont développés dans le rapport thématique [Dommages et adaptation](#). Il est important de noter que les deux types de risques sont liés : plus la transition (et donc éventuellement les risques de transition associés) sera retardée, plus grands seront les risques physiques.

- enfin, les administrations publiques dont les ressources financières proviennent en large partie de l'exploitation de ressources fossiles pourraient voir leur capacité financière amputée et leurs capacités d'emprunts sur les marchés de capitaux réduites (Manley *et al.*, 2017) ;
- les secteurs bancaires et financiers pourraient voir la valeur de leur portefeuille significativement diminuer, du fait des risques portant sur les ménages, les entreprises et les administrations publiques, conduisant à des contraintes importantes sur le financement de l'économie.

2. Canaux de transmission et tentatives de chiffrage du risque d'échouage d'actifs financiers

Une importante littérature s'est récemment intéressée aux possibles canaux de transmission à la sphère financière, dans le but d'estimer l'ampleur du choc pour pouvoir ensuite les minimiser en amont ou de s'en prémunir. Une trop grande déstabilisation du secteur financier (augmentation de la volatilité, des probabilités de défaut, etc.) peut en effet ralentir, voire momentanément arrêter le processus de décarbonation de nos économies (Geels, 2013).

Ces liens entre actifs échoués et impacts sur la stabilité financière restent cependant encore un domaine de recherche ouvert et les études ne convergent pas sur l'ampleur ou même la nature du risque¹. Toutes néanmoins pointent que le risque serait plus important dans le cas d'une transition désordonnée ou retardée et précipitée. Il importe donc d'isoler les phénomènes et les mécanismes propres aux secteurs financiers que pourrait recouvrir la matérialisation de ce risque.

Le premier point tient au fait que, dans ce secteur plus encore que dans d'autres, les anticipations de revenus futurs associés aux titres jouent un rôle primordial dans la stabilité des marchés. Aussi de brusques modifications simultanées des anticipations collectives pourraient-elles être à même de conduire en retour à des réévaluations brutales de catégories entières d'actifs, voire de les rendre partiellement illiquides. À l'extrême, la matérialisation de ce risque pourrait conduire au gel de certains marchés, voire à des mécanismes de *bank run* dans le cas où le secteur bancaire venait à être touché. Les canaux par lesquels pourraient passer ces brusques modifications sont aujourd'hui anticipées :

- évolution de la crédibilité accordée aux annonces de mise en place politiques de lutte contre le changement climatique contraignantes ;
- introductions soudaines de politiques climatiques contraignantes non ou mal anticipées ;

¹ Dans les scénarios les plus adverses, les différents auteurs, à la suite de Carney (2015), évoquent la possibilité du « Climate-Minsky Moment ».

- et accélération dans la mise en place des politiques climatiques par rapport au rythme anticipé par les marchés.

On peut par ailleurs noter que ce risque peut émaner de la sphère financière pour ensuite se diffuser à l'économie productive : un désengagement des investisseurs des actifs bruns plus rapide que la décarbonation réelle de l'économie pourrait ainsi entraîner l'échouage d'actifs dans un phénomène autoréalisateur, sans que ce ne soit justifié par la réalité de la transition (Ivanov *et al.*, 2020 et TCFD, 2017).

Au-delà de ces risques de « premier tour », le second risque propre à la sphère financière tient à l'importance des effets de réseau dus à l'intrication des investissements et aux potentiels effets de cascade que des défauts, initialement localisés, peuvent déclencher. L'échouage circonscrit de quelques acteurs facilement identifiables et très exposés à la transition (comme l'industrie pétrolière) pourrait être à la source d'effet de contagion, faisant ainsi se déplacer les risques vers des acteurs *a priori* moins vulnérables¹ (Battiston *et al.*, 2017²).

À l'inverse, certains outils et stratégies, eux aussi propres au secteur financier, pourraient permettre à celui-ci d'être plus résilient face aux risques de transition que le secteur productif. Il s'agit par exemple des stratégies de diversification vers des investissements « verts » (Dunz *et al.*, 2021³) ou bien encore de l'utilisation de produits de couverture ou assuranciers prenant spécifiquement en compte le risque de transition. En outre, plusieurs auteurs ont noté que la littérature sur le risque de transition au sein du secteur financier, encore émergente sur le sujet, n'a souvent considéré que les risques de dévalorisation et qu'elle a, à l'inverse, minimisé les opportunités d'investissements que pourrait offrir la transition et qui en retour pourraient minimiser les risques (Monasterolo, 2020⁴). En particulier, beaucoup d'études se concentrent sur le court terme et tendent ainsi à négliger les évolutions technologiques de long terme qui pourraient constituer des opportunités de placement (Cahen-Fourot *et al.*, 2021).

Si les canaux de transmission théoriques sont identifiés de manière encore balbutiante par la littérature académique et institutionnelle, les tentatives de chiffrage précis de ces risques sont, eux, avancés avec encore plus de précaution par les auteurs du fait de la grande incertitude qui les accompagne. Ces tentatives de quantification font en effet face à un

¹ On peut noter que ces effets de réseau sont également à prendre en compte dans la propagation du risque au sein de la sphère productive. Voir Cahen-Fourot L., Campiglio E., Godin A., Kemp-Benedict E. et Trsek S. (2021), « [Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilization](#) », AFD Research Papers, n° 204, mars.

² Battiston S., Mandel A., Monasterolo I., Schütze F. et Visentin G. (2017), « A climate stress-test of the financial system », *Nature Climate Change*, vol. 7, mars, p. 283-288.

³ Dunz N., Naqvi A. et Monasterolo I. (2021), « Climate sentiments, transition risk, and financial stability in a stock-flow consistent model », *Journal of Financial Stability*, vol. 54(C).

⁴ Monasterolo I. (2020), « Climate Change and the Financial System », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 12, octobre, p. 299-320.

certain nombre d'écueils, parfois difficilement surmontables, le principal d'entre eux étant l'identification des secteurs potentiellement exposés. En effet, en plus de l'incertitude qui entoure les scénarios de transition, la granularité des classifications d'activité aujourd'hui disponibles n'est souvent pas adéquate pour pouvoir créer un isolat d'activités carbonés (et d'actifs correspondants, dans le cas du secteur financier) (Battiston *et al.*, 2017), et des différences parfois importantes existent d'un secteur à l'autre ou d'un pays à l'autre (Jacquetin, 2021¹). Ces difficultés expliquent les écarts parfois importants qui peuvent exister d'une estimation à l'autre, certaines représentant plusieurs fois les montants de dévalorisations d'actifs engendrées par la crise de 2008 (Daumas, 2023²). En outre, Battiston *et al.* (2017) évaluent le stock d'actifs exposés autour de 27 000 milliards de dollars en 2015, pour les pays de l'Union européenne et pour les États-Unis. La banque d'Angleterre (2015)³ estime, au niveau mondial, le stock d'actifs exposés au risque de transition autour de 75 000 milliards de dollars, dont 9 000 milliards pour les secteurs d'extraction d'énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz), et 13 000 milliards pour les industries énérgo-intensives.

Les autorités prudentielles et de supervision du secteur financier se sont, depuis maintenant une décennie, saisies de la question, via notamment l'obligation de divulgation (*disclosure*) qui est faite aux différents acteurs du secteur. De plus, les risques de transition ont désormais été intégrés au sein de *stress-tests* dédiés à la question. S'il n'existe à ce jour aucune méthode standardisée pour la conduite de ces nouveaux *stress-tests* climatiques, on peut néanmoins ici citer le canevas général donné par le *Network for Greening the Financial System* (NGFS), un consortium de banques centrales et d'autorités de régulation dédié à ces questions. Leur méthodologie s'appuie sur le couplage de différents types de modèles (technicoéconomiques, sectoriels et climatiques, ainsi que macroéconomiques) et distingue, pour le risque de transition, un scénario « ordonné », dans lequel les politiques climatiques sont mises en place de façon graduelle et dans lequel les technologies sont disponibles sans contrainte, d'un scénario « désordonné », dans lequel la mise en place des politiques climatiques est repoussée jusqu'à 2030 et fait face à différentes contraintes sectorielles et internationales. Un module proprement financier permet ensuite de passer de ces scénarios analysés à l'aide d'un modèle macroéconomique à une estimation des probabilités de défaut des entreprises non financières (NGFS, 2020⁴).

¹ Jacquetin F. (2021), « [Stress-tests climatiques par scénarios. De l'analyse de risques à la modélisation](#) », Ademe, document de travail, février.

² Daumas L. (2023), « [Financial stability, stranded assets and the low carbon transition - A critical review of the theoretical and applied literatures](#) », *Journal of Economic Surveys*, mars.

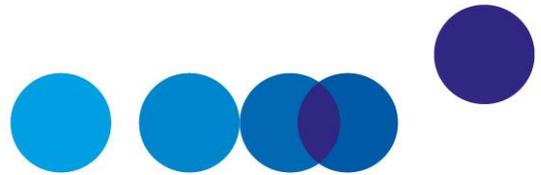
³ Banque d'Angleterre (2015), [The Impact of Climate Change on the UK Sector: A Climate Change Adaptation Report by the Prudential Regulation Authority](#), septembre.

⁴ NGFS (2020), « [Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors](#) », Network for Greening the Financial System, juin.

L'ACPR (Allen *et al.*, 2020¹) a ainsi mené un exercice d'évaluation du degré d'exposition des système bancaire et d'assurance français aux risques de transition et physiques liés au changement climatique. L'exercice est réalisé avec les établissements français sur la base du volontariat. Deux scénarios ont été construits, selon que la transition écologique est retardée à 2030 ou ordonnée, à partir de 2025 et réalisée sur environ dix ans. Le scénario de transition ordonnée est utilisé comme référence. Le cadre macroéconomique communiqué aux établissements bancaires et d'assurance pour réaliser l'exercice s'appuie sur les travaux du NGFS. Sur la base de ces données macrofinancières qui portent sur la période 2025-2050, les établissements bancaires et d'assurance calculent des projections de leur bilan et les risques escomptés. Les résultats sont ensuite agrégés par l'ACPR (ACPR, 2021²). Des itérations, ainsi que des tests de robustesse, ont également été réalisés pour affiner les résultats. Il en ressort notamment que les secteurs de la construction, de l'immobilier, de la production électrique et du commerce sont les plus exposés au risque de transition : pour les établissements bancaires, la part des crédits à risque dans ces secteurs est estimée entre 5 % et 6 % à l'horizon 2050.

¹ Allen T., Dees S., Boissinot J., Caicedo C. M., Chouard V., Clerc L., De Gaye A., Devulder A., Diot S., Lisack N., Pegoraro F., Rabaté M., Svartzman R. et Vernet L. (2020), « [Climate-related scenarios for financial stability assessment: An application to France](#) », Banque de France, Working Paper, n° 774, juillet.

² ACPR (2021), « [A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise](#) », Banque de France, *Analyses et synthèses*, n° 122-2021, avril.



CHAPITRE 5

ÉVALUATIONS *EX ANTE* DE L'IMPACT MACROÉCONOMIQUE D'UNE OBSOLESCENCE ACCÉLÉRÉE D'UNE PARTIE DU STOCK DE CAPITAL

1. Revue des mécanismes de transmission au niveau macroéconomique

L'impact macroéconomique d'une obsolescence accélérée du stock de capital devrait être négatif sur l'activité et l'emploi, à travers cinq canaux de transmission : l'augmentation du coût du capital, un effet d'éviction lié à une réorientation des investissements, le risque financier, une baisse temporaire de la productivité du capital et le risque de propagation dans la chaîne de valeur.

En théorie, à taux d'intérêt inchangé, le risque de capital échoué pourrait se traduire par une hausse du taux de dépréciation pour les entreprises et secteurs concernés, laquelle augmente mécaniquement le coût du capital associé, défini selon la formule de Hall-Jorgenson¹. Un coût du capital plus important a pour conséquence de réduire la rentabilité attendue des projets d'investissement. Ainsi, moins de projets passent avec succès le test de valeur actuelle nette positive², de sorte que l'investissement diminue. Cet effet négatif sera néanmoins plus ou moins significatif au niveau macroéconomique, selon le degré d'exposition des entreprises et secteurs au risque d'actifs échoués.

¹ Selon cette formule, le coût du capital est égal à la somme du taux d'intérêt réel auquel l'entreprise peut emprunter pour financer son investissement et du taux de dépréciation, pondérée par le prix de l'investissement rapporté à celui de la production.

² Le test de la valeur actuelle nette consiste à comparer la somme des flux de revenus actualisés qu'un investissement générerait, à son coût. Si la valeur est positive, alors l'entreprise a intérêt à réaliser l'investissement.

Le besoin de remplacement du capital augmente. À l'état stationnaire, l'investissement est fonction croissante du taux de dépréciation. Maintenir le niveau de capital constant impliquerait donc d'augmenter les dépenses d'investissement à long terme. Par ailleurs, pour des niveaux élevés d'investissements, **un risque d'éviction avec les autres postes de dépenses existe** (consommation ou autres types d'investissement). C'est le cas des ménages, par exemple, pour la rénovation énergétique des logements ou l'achat d'une voiture bas-carbone. Ces investissements représentent pour eux un surcoût, susceptible de réduire leurs consommations courantes et leurs achats de biens durables. Ce raisonnement vaut aussi pour l'État, qui, devant investir davantage dans le remplacement d'une partie de son capital émissif et potentiellement mettre en place des mesures d'accompagnement pour les ménages et les entreprises, peut le faire au détriment d'autres dépenses.

L'échouage d'une partie du stock de capital diminue la valeur des actifs sous-jacents détenus par les agents, pouvant notamment contraindre les institutions financières à accroître leurs provisions, provoquant alors **une baisse du crédit, voire une augmentation du risque financier, et donc du coût de financement via la prime de risque**. Les ménages et les entreprises détenant des titres financiers liés aux secteurs carbonés seront également exposés via le risque de perte de valeur de leur portefeuille. Si le risque d'une bulle carbone, fondée sur des anticipations erronées quant à la rentabilité future du capital brun, se matérialise, l'ensemble des institutions financières, des entreprises et des ménages détenant des actions ou des obligations liées aux secteurs bruns pourraient essuyer des pertes importantes, susceptibles de mettre en danger la stabilité du système financier et de créer un choc macroéconomique majeur.

Substituer du capital vert au capital brun, qui bénéficie d'un plus long historique de recherche et développement, pourrait en moyenne **diminuer la productivité du capital à court terme**. En effet, ces deux derniers siècles ont été marqués par des investissements dans le brun, tandis que ceux dans le vert n'ont émergé que récemment. Le passage d'une technologie brune à une technologie verte pourrait impliquer des coûts d'installation qui donneraient à la première un avantage de productivité face à la seconde (Ferrari et Pagliari, 2021¹). La rapidité du retour à la productivité antérieure, voire son dépassement, dépendra de la vitesse des gains de productivité dans le secteur vert et du progrès technologique.

Enfin, les secteurs dont les capitaux sont échoués vont **négativement toucher tous les secteurs** (risque de propagation du choc) via les interconnexions économiques et financières. C'est le cas en particulier des secteurs économiques dépendant directement des secteurs extractifs, dont ils utilisent les produits comme intrants.

¹ Ferrari M. et Pagliari M. S. (2021), « [No country is an island. International cooperation and climate change](#) », Banque de France, Working Paper n° 815, août.

2. Intégration du capital échoué dans les modèles macroéconomiques

L'apparition de capital échoué peut être modélisée par une augmentation de la dépréciation du capital, liée à l'internalisation de contraintes environnementales par les agents économiques. Une étude de l'Ademe (2023)¹, fondée sur l'utilisation du modèle ThreeME, propose ainsi d'introduire une chronique de capitaux échoués, calibrée à partir des estimations de l'Irena (2017)² pour la France. Dans cet exemple, seuls deux secteurs (l'immobilier résidentiel et l'immobilier tertiaire), sont supposés connaître une hausse de la dépréciation de leur capital entre 2030 et 2050, dans un scénario de transition retardée et précipitée, à partir de 2030. L'introduction d'actifs échoués vient modifier la dynamique du capital détenu par ces secteurs, dont l'accumulation est ralentie. L'impact macroéconomique se matérialise alors via les ménages, qui anticipent des pertes de capital et ajustent en conséquence à la hausse leur taux d'épargne. L'augmentation de la dépréciation produit sur eux un effet de richesse négatif et une incitation à investir dans la rénovation énergétique des logements. Le cadre de modélisation retenu garantit également une cohérence, dans le temps, entre stock de capital et flux d'investissements et de capitaux échoués. En 2030, l'activité serait diminuée de 0,5 point de PIB par rapport à un scénario sans choc et de 2 points à l'horizon 2050.

Une autre approche consiste à endogénéiser la dépréciation du capital induite par l'introduction d'une contrainte sur les émissions de GES. Dans un modèle-jouet en cours d'élaboration à l'Insee, de type Ramsey, à deux formes de capital (brun et vert), où seul le brun est émissif, il est fait l'hypothèse qu'un planificateur social choisit une trajectoire d'investissements et de capitaux échoués compatible avec une contrainte carbone donnée (comme un budget carbone ou une cible ponctuelle sur les flux d'émissions, de type « Fit for 55 » en 2030). Ici les contraintes sur les émissions sont fixées de manière exogène (dans une approche coût-efficacité) et jouent comme un prix du carbone, plus ou moins fort, en fonction de leur sévérité. Pour les satisfaire, le choix peut être fait à tout moment de jeter du capital

¹ Ademe, Seureco, Banque de France et Cired (2023), *Risques de transition : une analyse multi-modèles pour la France. Étude comparée de l'implémentation des scénarios du NGFS*, rapport final, mars. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Finance ClimAct, encadré par l'Ademe, réunissant également ERASME-Seureco, le Cired et la Banque de France, dont l'objectif est d'évaluer l'impact macroéconomique de scénarios de transition écologique sur l'économie française.

² Irena (2017), « *Stranded assets and renewables: How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock* », Agence internationale pour les énergies renouvelables, Working Paper, juillet. L'étude fournit un chiffrage pour l'Union européenne (28 pays), où les capitaux échoués concernent quasi exclusivement la construction (99 %), pour un coût total annuel moyen estimé entre 150 et 310 milliards de dollars (selon que la transition est ordonnée ou retardée et précipitée). Le coût annuel moyen pour la France est ensuite interpolé à partir de ce chiffrage sur la base de la part française dans le stock de capital immobilier au niveau européen, de l'ordre de 20 %, soit entre 30 et 60 milliards de dollars.

brun prématurément, si la dépréciation, à son rythme normal, du capital brun ne suffit pas à assurer une transition assez rapide, du brun au vert, pour respecter les contraintes émissives (voir [annexe 1](#)). Une approche analogue a été utilisée par van der Ploeg et Rezai (2021)¹, dans le cadre d'un modèle d'équilibre général dynamique et stochastique. Les auteurs contraignent les émissions de GES de sorte à respecter les objectifs de l'accord de Paris de limiter la hausse des températures moyennes mondiales entre 1,5 °C et 2 °C. Cette contrainte se traduit par une forte augmentation de la taxe carbone qui incite les entreprises à utiliser les énergies renouvelables. Par ailleurs, il en résulte une baisse de la demande pour les énergies fossiles, qui conduit à une diminution significative de la valeur du stock de pétrole et de gaz.

Une seconde possibilité est de considérer que les entreprises n'utilisent pas pleinement leurs capacités de production, qu'elles peuvent moduler en fonction de diverses variables, comme la demande anticipée ou le risque de voir entrer un nouveau concurrent sur le marché. Cette approche est retenue par certains modèles d'inspiration postkeynésienne. Dans ce cadre, un durcissement des contraintes sur les émissions de GES peut entraîner une moindre utilisation du capital lié aux activités les plus émissives, ce qui produit un choc négatif sur la productivité du capital installé. Jackson (2018)² modélise ainsi le capital échoué dans un secteur comme la part du capital qui n'est pas nécessaire à la production du bien final. Son étude fait la distinction entre le niveau de capital dont dispose un secteur à un moment donné (dépendant des choix d'investissement passés, faits sur la base des profits futurs anticipés) et le capital effectivement utilisé pour produire, l'écart entre les deux correspondant à la quantité de capital échoué. Celui-ci résulte donc d'une non-prise en compte, dans les investissements passés, des futures contraintes environnementales qui prennent par surprise les agents et viennent finalement limiter les débouchés des secteurs émissifs. Les simulations montrent que l'échouage des actifs est d'autant plus important que la transition est rapide et mal anticipée par les agents (de 20 % à 70 % selon le scénario de transition et les hypothèses d'anticipations).

Dans ce même cadre des modèles à stocks et flux cohérents, Gourdel *et al.* (2022)³ a mené une analyse prenant en compte les interactions entre climat, système financier et économie réelle, dans l'évaluation macroéconomique de trois scénarios de transition énergétique du NGFS (transition ordonnée, transition désordonnée et prolongement des politiques actuelles). Dans cette étude, la mise en place d'une politique de transition

¹ van der Ploeg F. et Rezai A. (2021), « [Optimal carbon pricing in general equilibrium: Temperature caps and stranded assets in an extended annual DSGE model](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 110, octobre.

² Jackson A. (2018), « A stock-flow consistent framework for the analysis of stranded assets and the transition to a low carbon economy », thèse de doctorat en environnement et développement durable à l'université de Surrey.

³ Gourdel R., Monasterolo I. Dunz N., Mazzocchetti A. et Parisi L. (2022), « [The double materiality of climate physical and transition risks in the euro area](#) », Banque centrale européenne, Working Paper, n° 2665, mai.

énergétique se traduit par des difficultés pour les entreprises extractives ou très consommatrices d'énergies fossiles, qui voient leurs coûts augmenter et leurs débouchés se réduire. Par conséquent leur rentabilité baisse, ce qui conduit les banques à réévaluer à la hausse leur risque de crédit et donc à moins leur prêter. La contraction de l'activité qui touche ces secteurs ouvre la possibilité à l'échouage de tout ou partie de leurs actifs. L'étude montre également l'importance de l'ancrage des anticipations par les agents de la trajectoire future du prix du carbone : plus celle-ci est anticipée à l'avance, moindre est le risque d'échouage. En revanche, contrairement à l'étude de Jackson, le travail de la BCE ne quantifie pas explicitement la perte de capital induite.

Il apparaît également que des modèles à croissance endogène se révèlent pertinents pour mieux comprendre l'échouage des actifs bruns. En effet, le développement des technologies vertes est sujet à des effets d'apprentissage susceptibles de générer des externalités positives de production se transmettant d'une entreprise innovatrice à ses concurrentes, et entraînant une augmentation de la productivité ainsi qu'une baisse des coûts dans les secteurs concernés. Ce phénomène est identifiable dans la production d'énergies renouvelables, dont les prix ont significativement baissé ces dernières années. Une étude de Baldwin *et al.* (2020)¹ s'intéresse ainsi à la prise en compte des effets d'apprentissage dans les secteurs verts. L'hypothèse de modélisation retenue est que le prix du bien vert est une fonction décroissante du capital humain, du fait de l'effet bénéfique de l'apprentissage sur le coût des technologies. Plus l'accumulation du capital humain et des infrastructures à la base de la production décarbonée est importante, et plus la compétitivité relative du vert, face au brun, s'améliore. L'effet d'apprentissage dans les secteurs verts fait apparaître plus tôt que prévu (par rapport à si on l'avait négligé) un substitut, compétitif, aux énergies carbonées. Par conséquent, il accélère la transition et avance le moment où l'investissement brun s'arrête. En fin de période, il y a moins d'actifs échoués car il y a eu moins d'investissements dans le brun au début. D'où l'intérêt, montré par l'article (Baldwin *et al.*, 2020), d'accompagner la taxation du carbone d'une subvention aux renouvelables.

Selon l'approche, la manière de prendre en compte le capital échoué dans les modèles macroéconomiques peut se faire soit de façon exogène, en introduisant des chroniques de capitaux échoués estimées par des travaux empiriques, soit de façon endogène, en permettant aux agents de modifier leur comportement, et donc de choisir, sur la base d'un calcul rationnel, de jeter prématurément du capital brun si les contraintes d'émissions les y obligent. L'intérêt de la première approche est qu'elle s'appuie sur des travaux fondés empiriquement et qu'elle permet de tester des scénarios macroéconomiques incluant des niveaux « réalistes » d'actifs échoués. L'intérêt de l'endogénéité, quant à lui, est de ne pas considérer le comportement des agents comme

¹ Baldwin E., Cai Y. et Kuralbayeva K. (2020), « [To build or not to build? Capital stocks and climate policy](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 100, mars.

donné *a priori* mais de le représenter comme le résultat d'un calcul économique les amenant à s'ajuster aux contraintes environnementales (en mettant au rebut une partie du capital brun, par exemple). Même si cette approche microfondée des capitaux échoués est séduisante, elle peut néanmoins se heurter à des questions de calibrage susceptibles de mettre en question le caractère réaliste des chroniques ainsi obtenues.

3. Quelle élasticité de substitution entre facteurs de production retenir ?

La dynamique des modèles macroéconomiques utilisés pour évaluer l'impact des mesures de décarbonation est conditionnée par la spécification et le calibrage des équations comportementales, notamment de la fonction de production et des élasticités de substitution entre les facteurs.

L'évaluation *ex ante* de l'impact macroéconomique d'une obsolescence accélérée d'une partie du stock de capital sur des variables d'intérêt (production, consommation, emploi etc.), mais également de l'ampleur possible des montants de capital échoué, dépend largement du calibrage des élasticités de substitution entre facteur de production, et plus largement, du choix de la forme de la fonction de production (Cobb-Douglas ou CES¹) et du nombre de facteurs modélisés. Le maintien d'un niveau de production compatible avec les objectifs de décarbonation nécessite notamment que le capital et l'énergie soient effectivement substituables. Sous l'hypothèse d'une élasticité de substitution entre le capital et l'énergie (notamment fossile) complémentaire, toute mesure contraignant l'utilisation d'intrants énergétiques (carbonés) pourrait s'accompagner d'une diminution du stock de capital mobilisé pour la production. La moindre utilisation de ces deux facteurs pourrait alors conduire à une baisse de la production, *modulo* l'ajustement du facteur travail et le progrès technologique, ainsi qu'à l'échouage de la partie du stock de capital qui n'est plus mobilisée, si celle-ci ne peut pas être convertie pour un autre usage économique. La décarbonation aurait alors un coût économique plus élevé que si le capital et l'énergie étaient substituables.

¹ Constant Elasticity of Substitution.

Si certains modèles sont calibrés à partir d'estimations économétriques de ces élasticités – tels que les modèles ThreeME à partir de la méta-analyse de Stern (2009)¹, ou Vulcain 2 à partir d'Henriet *et al.* (2014)² –, trois limites transversales peuvent néanmoins être soulignées :

- les calibrages s'appuient sur plusieurs définitions des élasticités de substitution, dont les propriétés diffèrent significativement ;
- le choix de la forme de la fonction de production est réalisé de façon *ad hoc*, et non en cohérence avec les données sous-jacentes à l'estimation des élasticités ;
- dans le cas où plusieurs secteurs d'activité sont modélisés, les élasticités de substitution et la fonction de production sont généralement supposées identiques.

De façon générale, l'estimation économétrique des élasticités de substitution, utilisées pour calibrer les modèles macroéconomiques, devrait répondre aux deux critères suivants, définis sur la base de la méta-analyse de Broadstock *et al.* (2007)³ sur 242 articles :

- s'appuyer idéalement sur une fonction de coût de production *trans-log* dynamique, qui permet de vérifier la forme fonctionnelle la plus cohérente avec les données sous-jacentes ;
- utiliser des élasticités estimées pour le pays modélisé, et non recourir aux estimations portant sur d'autres pays du fait de la forte hétérogénéité dans les résultats.

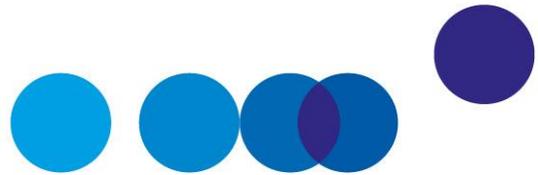
Il est également à noter que les estimations sont conditionnées par la nature des données utilisées : elles apparaissent plus faibles lorsque les estimations sont réalisées en panel plutôt qu'à partir de séries temporelles, et plus encore lorsque des données en *cross-section* sont mobilisées.

Dans le cas de la France, cinq travaux empiriques visant à estimer les élasticités de substitution entre facteurs de production, au nombre maximum de trois (capital, travail et énergie), ont été identifiés (voir tableau en [annexe 2](#)). Quatre articles supposent une forme fonctionnelle de type CES préalable aux estimations économétriques et un seul a recours à une fonction *trans-log* statique. Par ailleurs, quatre articles s'appuient sur des données de la comptabilité nationale et un sur des données d'entreprises. L'élasticité de substitution estimée entre le capital et l'énergie est comprise entre - 0,043 (hypothèse de complémentarité) et 1 (fonction Cobb-Douglas).

¹ Stern D. I. (2009), *Interfuel Substitution: A Meta-Analysis*, rapport de recherche, juin.

² Henriet F., Maggjar N. et Schubert K. (2014), « *A stylized applied energy-economy model for France* », *The Energy Journal*, vol. 35(4).

³ Broadstock D. C., Hunt L. et Sorrell S. (2007), « *UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 3: Elasticity of substitution studies* », UK Energy Research Centre, Working Paper, octobre.



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de la transition écologique, le marché des capitaux (productif et financier) est principalement exposé à un risque de capital échoué. La minimisation de ce risque passe par une stratégie de décarbonation crédible de moyen-long terme, de sorte à donner suffisamment de visibilité aux agents économiques pour qu'ils puissent anticiper les effets des politiques climatiques et adapter leurs décisions en conséquence. La substitution du capital à l'énergie (d'origine fossile) pourrait par ailleurs être facilitée par des mesures d'accompagnement, ciblées et financées auprès des ménages et des entreprises, et de soutien à l'innovation, afin de réduire les coûts d'investissements.

Néanmoins, ce risque reste difficilement appréciable, en particulier pour la France. La très grande majorité des travaux empiriques dans la littérature visant à apprécier les montants de capitaux échoués portent uniquement sur le secteur d'extraction des énergies fossiles (dans la mesure où il s'agit du secteur le plus directement exposé aux risques de transition), pour lequel les pays européens ne sont que peu concernés directement.

Il apparaît dès lors pertinent d'approfondir les travaux d'évaluation pour la France et les principales économies européennes (qui risquent d'influer sur le bouclage international), selon une approche *bottom-up* :

- de la part du stock de capital physique contemporain exposé au risque d'échouage – ces travaux serviraient notamment à affiner la liste des secteurs et des actifs concernés ;
- des montants de capital échoué à proprement parler, qui nécessitent un certain nombre d'hypothèses supplémentaires, relatives aux scénarios de transition retenus (ordonnée ou retardée) et aux chroniques d'investissements de décarbonation.

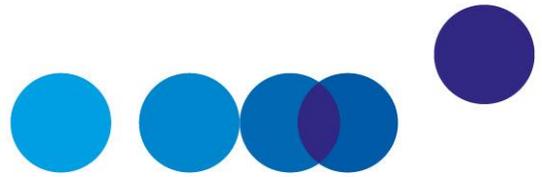
De nombreuses sources d'incertitudes demeurent quant à la matérialisation des effets du changement climatique, aux politiques de transition écologique, ainsi qu'à leurs effets socioéconomiques. En particulier, il existe une probabilité non nulle que ces différents chocs, dont le capital échoué, aient un impact macrofinancier pouvant obérer la croissance économique, le financement de l'économie et dès lors renchérir le coût de la transition, notamment si les politiques d'atténuation sont mises en place de façon désordonnée et retardée. Par ailleurs, les outils de modélisation, notamment macroéconomiques, présentent un certain nombre de limites. Dans le cas du risque de capital échoué, si un

certain nombre de canaux de transmission peuvent être *a priori* identifiés, conduisant à envisager un impact négatif sur l'activité ou l'emploi (notamment via le renchérissement du coût du capital), leur intégration dans les modèles macroéconomiques demeure fruste. Ainsi, la définition des politiques de décarbonation ne peut pas être exclusivement conditionnée aux évaluations *ex ante* de leur impact (Stern et Stiglitz, 2021¹).

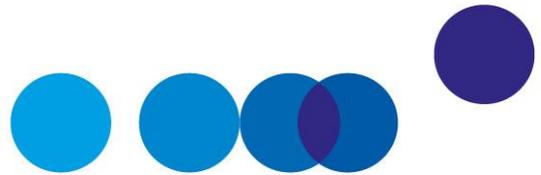
En parallèle, des travaux de recherche pourraient être menés pour améliorer la pertinence des outils d'évaluation. Dans le cas du présent rapport thématique, deux axes de recherche prioritaires ont été identifiés :

- réaliser des études économétriques pour estimer les élasticités de substitution entre facteurs de production (*a minima* travail, capital et énergie), ainsi que la spécification de la fonction de production, en cohérence avec les données françaises ;
- approfondir les méthodes pour intégrer le capital échoué dans un modèle macroéconomique, ainsi que la modélisation des différents canaux de transmission macrofinanciers, pour en évaluer les effets de façon cohérente.

¹ Stern N. et Stiglitz J. (2021), « [The social cost of carbon, risk, distribution, market failures: An alternative approach](#) », NBER Working Paper n° 28472, février.



ANNEXES



ANNEXE 1

PRÉSENTATION DU MODÈLE-JOUET DE L'INSEE POUR ÉTUDIER LE CAPITAL ÉCHOUÉ DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Riyad Abbas, Nicolas Carnot, Matthieu Lequien, Alain Quartier-la-Tente et Sébastien Roux

Introduction

Le modèle¹ vise à représenter la décarbonation du système productif français induite par la transition énergétique. Pour cela, une dichotomie stylisée du capital est proposée : celui-ci est soit brun, émissif de gaz à effet de serre (GES), soit vert, non émissif, dans le cadre d'un modèle-jouet à la Ramsey à une seule région (la France). L'idée est de s'intéresser à la vitesse de la transition du brun au vert, en fonction des politiques climatiques conduites, se traduisant par des objectifs d'émissions de GES choisis, et en tenant compte de la possibilité d'un échouage du capital brun (consistant ici à en mettre tout ou partie au rebut, et non seulement à ajuster son taux d'utilisation, comme dans Rozenberg *et al.*, 2017²). Qu'implique le respect de ces objectifs pour l'évolution des flux d'investissements et des stocks de capital, brun et vert, dans les prochaines décennies ? En particulier, qu'en est-il de l'échouage du capital brun : faudra-t-il en mettre une partie prématurément au rebut pour atteindre les cibles climatiques ?

¹ Cette annexe décrit en détail le modèle stylisé présenté dans l'encadré « Quelques enseignements d'un modèle stylisé de décarbonation par le capital » du rapport de synthèse [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#).

² Rozenberg J., Vogt-Schilb A et Hallegatte S. (2017), « [Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital](#) », Inter-American Development Bank Working Paper, n° IDB-WP-782, mars.

Présentation du modèle

Secteur productif

Il existe un seul bien final, produit par la combinaison de trois intrants, les capitaux, brun et vert, et le travail. L'année t , la quantité produite de bien final est $Y_t = F(K_{t-1}^b, K_{t-1}^v, \bar{L})$. La croissance démographique étant supposée nulle, la population demeure constante dans le temps, et reste égale au niveau \bar{L} . Dans notre choix de modélisation, les deux formes de capital ne sont pas exclusives l'une de l'autre : elles co-existent dans l'économie. À l'équilibre, leur part respective dépend de leur productivité spécifique et de leur substituabilité (voir partie « Calibrage » *infra*). Sur le plan environnemental, le processus productif émet des GES, et cela du seul fait du capital brun déjà installé, le vert n'émettant pas. Ainsi $e_t = e_b K_{t-1}^b$, où e_t représente le flux total d'émissions et e_b l'émissivité par unité de capital brun.

Pour prendre en compte l'existence de puits de carbone, une partie du capital brun est considérée comme « protégée », c'est-à-dire que sa quantité est maintenue constante dans le temps et est calculée de sorte à ce que les émissions qui en émanent saturent le puits de carbone national. Une fois déprécié, il est systématiquement remplacé. On note \underline{K}^b le capital brun protégé, tandis que le non protégé est noté \tilde{K}_t^b . On a donc : $K_t^b = \tilde{K}_t^b + \underline{K}^b$.

Chaque année t , le capital, brun comme vert, est soumis à la dynamique suivante :

- une fraction δ du capital disparaît ;
- un investissement I_t^i ($i = b, v$) a lieu et une partie du capital brun (ϕ_t^b) est mise au rebut (capitaux échoués). Le niveau d'investissement en capital brun se compose de deux parties : l'une, $\underline{I}^b = \delta \underline{K}^b$, ne sert qu'au renouvellement du capital brun protégé, qui n'est pas concerné par l'échouage ; l'autre, \tilde{I}_t^b , est l'investissement dans le capital brun non protégé, si bien que $I_t^b = \tilde{I}_t^b + \underline{I}^b$.

Contraintes sur les émissions

Les ambitions en matière de lutte contre le réchauffement climatique sont représentées sous la forme de contraintes sur les émissions nettes de GES. Leur introduction favorise le capital vert au détriment du capital brun dans le processus productif.

Trois types de contraintes sont considérées :

- une contrainte de zéro émission nette (ZEN) à partir de l'année T_E : $K_t^b = \underline{K}^b, t \geq T_E$,
 $\phi_{T_E} = K_{T_E-1}^b - \underline{K}^b$;

- un budget carbone, sur les émissions nettes cumulées, compatible avec une limitation du réchauffement climatique à moins de 1,5 °C ou de 2 °C :

$$\sum_{t=t_0}^{T_E} e_t \leq E_{max}$$

où t_0 est la date d'introduction de la contrainte dans l'économie. Dans les applications, nous partons de $t_0 = 2019$;

- des contrainte(s) sur le flux des émissions l'année tl , telle(s) que $e_{tl} \leq \underline{e}_{tl}$. Par exemple, « Fit for 55 » pour 2030 : $e_{2030} \leq 0,45 \times e_{1990}$.

Ces contraintes sont aussi une manière indirecte de prendre en compte le coût des dommages liés au changement climatique, non explicitement modélisé. En effet, c'est précisément pour atténuer ce coût qu'il est rationnel d'investir dans le verdissement du système productif.

Programme du planificateur social

On suppose que les décisions d'investissement et de consommation sont prises par un planificateur social, qui maximise la somme intertemporelle actualisée des utilités tirées de la consommation à chaque date ($u(C_t)$), sous les contraintes suivantes :

- l'équilibre ressources – emplois ;
- l'accumulation du capital ;
- une ou plusieurs contraintes sur les émissions nettes (voir *supra*).

L'équilibre est atteint, par résolution du programme suivant, assorti des contraintes précisées ci-dessous.

$$\begin{aligned} - \quad & \max_{\substack{\tilde{I}_1^b, \dots, \tilde{I}_{T_E}^b \geq 0 \\ \phi_1^b, \dots, \phi_{T_E}^b \geq 0 \\ I_1^v, \dots, I_t^v, \dots \geq 0}} \sum_{t=t_0}^{+\infty} \frac{u(C_t)}{(1+\rho)^{t-t_0}} \end{aligned}$$

- Équilibre ressources-emplois :

$$F(K_{t-1}^b - \phi_t^b, K_{t-1}^v, \bar{L}) = C_t + \tilde{I}_t^b + I_t^v + \delta \underline{K}^b$$

Ce qui est produit à l'aide du capital installé (duquel on enlève le capital échoué ϕ_t^b) est utilisé pour la consommation et pour investir en capital brun ou vert à la date courante.

– Accumulation des capitaux brun et vert :

$$\begin{cases} K_t^b = \tilde{K}_t^b + \underline{K}^b \\ \tilde{K}_t^b = (1 - \delta)(\tilde{K}_{t-1}^b - \phi_t^b) + \tilde{I}_t^b \\ K_t^v = (1 - \delta)K_{t-1}^v + I_t^v \end{cases}$$

Ces équations décrivent la dynamique d'accumulation du capital brun non protégé et du capital vert. Le capital brun protégé reste constant et son investissement ne sert qu'à le renouveler.

– Contraintes carbone :

- contrainte ZEN : $\phi_{T_E-1}^b = \tilde{K}_{T_E-1}^b$ avec $\tilde{K}_t^b = \tilde{I}_t^b = \phi_t^b = 0, K_t^b = \underline{K}^b, \forall t \geq T_E$;
- contrainte(s) ponctuelle(s) sur les émissions annuelles : $e_{tl} \leq \acute{e}_{tl}, \phi_{tl-1}^b = \max\left(\tilde{K}_{t-1}^b - \frac{\acute{e}_{tl}}{e_b}, 0\right)$;
- budget carbone à ne pas dépasser : $\sum_{t=t_0}^{T_E} e_t \leq E_{max}$ avec $e_t = e_b K_{t-1}^b$.

Solutions stationnaires

L'économie est supposée se trouver dans un équilibre stationnaire, avant t_0 , dans lequel capitaux brun et vert coexistent. Leurs niveaux respectifs, K_0^v et K_0^b , sont solutions des équations :

$$\rho + \delta = \frac{\partial F}{\partial K^b}(K_0^b, K_0^v) = \frac{\partial F}{\partial K^v}(K_0^b, K_0^v)$$

Au début de $t_0 + 1$, l'économie se trouve dans un état stationnaire. Mais les contraintes carbone sont révélées avant de prendre les décisions d'investissement et de consommation, qui les prennent en compte et font sortir l'économie de son état stationnaire.

Entre $t_0 + 1$ et T_E , les différentes contraintes carbone peuvent s'appliquer (notamment ponctuelles), générant des chocs dans l'économie l'empêchant de revenir vers un état stationnaire.

Au-delà de T_E , la contrainte de ZEN s'impose et l'environnement devient stable. Le seul capital brun restant est le capital brun protégé (\underline{K}^b), qui sature le puits de carbone. À long terme, un nouvel état stationnaire est atteint, tel que l'investissement total maintient la consommation constante. Le capital vert ainsi obtenu (K_∞^v) est solution de l'équation :

$$\rho + \delta = \frac{\partial F}{\partial K^v}(\underline{K}^b, K_\infty^v)$$

Coût marginal d'abattement

Le coût marginal d'abattement correspond à la baisse de la production à laquelle il faut consentir pour réduire d'une tonne les émissions de GES. D'après le modèle, on peut l'écrire ainsi l'année t :

$$CA_t = \frac{\sum_{s=t}^{\infty} \left(\frac{1-\delta}{1+\rho}\right)^{s-t} \left(\frac{\partial F}{\partial K^b}(K_s^b, K_s^v) - \frac{\partial F}{\partial K^v}(K_s^b, K_s^v) \right)}{\sum_{s=t}^{\infty} (1-\delta)^{s-t} e_b}$$

Par conséquent, il est nul à l'état stationnaire de départ, car : $\frac{\partial F}{\partial K^b}(K_0^b, K_0^v) = \frac{\partial F}{\partial K^v}(K_0^b, K_0^v)$.

Enfin, à l'état stationnaire de long terme, il s'écrit :

$$CA_{\infty} = \frac{\delta(1+\rho)}{e_b(\rho+\delta)} \left(\frac{\partial F}{\partial K^b}(\underline{K}^b, K_{\infty}^v) - \frac{\partial F}{\partial K^v}(\underline{K}^b, K_{\infty}^v) \right)$$

Ainsi, plus la quantité de capital brun installée est faible, plus il est coûteux d'abattre une tonne supplémentaire de GES.

Résolution numérique

La résolution du programme du planificateur se fait par une approximation numérique, inspirée de Mercenier et Michel (1994)¹. Il s'agit d'utiliser l'équivalence asymptotique entre ce programme et un autre, défini en temps fini.

Dans ce cadre (et ci-après dans le cas où on n'introduit pas les contraintes climatiques), le programme du planificateur s'étend sur une séquence de moments finis $t(1), \dots, t(N)$, avec $N \rightarrow +\infty$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_{\substack{0 \leq i_{t(1)}^b, \dots, i_{t(N)}^b \leq 1 \\ 0 \leq i_{t(1)}^v, \dots, i_{t(1)}^v \leq 1}} \sum_{n=1}^N \alpha_n u \left((1 - i_{t(n)}^b)(1 - i_{t(n)}^v) F(K_{t(n-1)}^b, K_{t(n-1)}^v) \right) + \frac{\alpha_N}{\rho} u \left(F(K_{t(N)}^b, K_{t(N)}^v) \right) \\ K_{t(n+1)}^b - K_{t(n)}^b = \Delta_n \left(-\delta K_{t(n)}^b + i_{t(n)}^b F(K_{t(n-1)}^b, K_{t(n-1)}^v) \right) \\ K_{t(n+1)}^v - K_{t(n)}^v = \Delta_n \left(-\delta K_{t(n)}^v + (1 - i_{t(n)}^b) i_{t(n)}^v F(K_{t(n-1)}^b, K_{t(n-1)}^v) \right) \end{array} \right.$$

où $\Delta_n = t(n+1) - t(n)$, et $\alpha_{n+1} = \frac{\alpha_n}{1+\rho\Delta_n}$, le dernier niveau de consommation atteint correspondant à celui obtenu dans le cas où le niveau de capital resterait constant et que les investissements ne feraient plus que compenser la dépréciation du capital.

¹ Mercenier J. et Michel P. (1994), « Discrete-time finite horizon approximation of infinite horizon optimization problems with steady-state invariance », *Econometrica*, vol. 62(3), mai, p. 635-556.

D'après Mercenier et Michel (1994), ce programme est asymptotiquement équivalent à celui exprimé plus haut.

Il existe une manière optimale de déterminer les pas de temps $t(n)$, en linéarisant le modèle autour de sa solution stationnaire. Néanmoins dans la pratique on choisit de faire coïncider le début de la séquence aux années comprises entre l'année de base, 2019, et la première année à zéro émission nette, T_E . Au-delà de cette date, on fait vieillir le modèle année après année, jusqu'en 2120, ce qui assure la convergence du modèle vers sa solution stationnaire.

Calibrage

Les formes fonctionnelles

La fonction de production prend comme intrants les capitaux brun et vert ainsi que le travail : $Y = F(k(K^b, K^v), \bar{L})$, avec $F(k, \bar{L}) = k^\alpha \bar{L}^{1-\alpha}$, $\bar{L} = 1$, par normalisation, et k est la fonction de capital synthétique. On fait l'hypothèse que celle-ci combine les capitaux brun et vert selon une technologie CES à élasticité de substitution σ . Ainsi :

$$Y = F(k(K^b, K^v), 1) = \left[\left((a_b K^b)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (a_v K^v)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \right]^\alpha$$

La forme CES autorise la coexistence du brun et du vert dans les investissements.

Pour l'utilité, on choisit : $u(C) = \ln(C)$. La concavité des fonctions de production et d'utilité garantit l'existence d'une solution stationnaire au programme du planificateur et la convergence vers cette solution.

Initialisation et paramètres structurels

Tableau A1 – Initialisation du PIB, du capital et des émissions de GES

Variable	Niveau en 2019
PIB	2 426 Md €
Capital brun	7 333 Md €
Capital vert	815 Md €
Émissions de GES	434 MtCO ₂ eq

Source : Insee, calcul des auteurs

Les niveaux de PIB et de capital net fixe installé total ont été initialisés à partir des données de la comptabilité nationale pour 2019. En revanche, la part du capital vert dans le capital total a été fixée *a priori* à 10 %, en attendant une estimation ultérieure plus fine, fondée sur l'analyse du compte de patrimoine par branche. Les émissions totales de GES en 2019 sont tirées de l'inventaire national (SDES, 2021).

Rapportées au PIB, elles permettent de calculer le coefficient d'émissivité du capital brun e_b . Pour le choix de l'élasticité de substitution σ entre capital brun et capital vert, on suit Papageorgiou *et al.* (2017) en la fixant à 3. Le paramètre α peut, lui, être déduit des valeurs du PIB et des quantités de capitaux brun et vert à l'année de base :

$$\alpha = \frac{(\rho + \delta)(K_{2019}^b + K_{2019}^v)}{Y_{2019}}$$

Les valeurs des paramètres a_b et a_v peuvent être obtenues à partir des conditions du premier ordre à l'état stationnaire initial :

$$\ln a_b = \frac{1}{\alpha} \ln Y_{t_0} + \frac{1}{\sigma - 1} \ln K_{t_0}^b - \frac{\sigma}{\sigma - 1} \ln(K_{t_0}^b + K_{t_0}^v)$$

$$\ln a_v = \frac{1}{\alpha} \ln Y_{t_0} - \frac{\sigma}{\sigma - 1} \ln(K_{t_0}^b + K_{t_0}^v) + \frac{1}{\sigma - 1} \ln K_{t_0}^v$$

Pour le taux de dépréciation du capital, une valeur de 5 % est retenue, proche de celle que l'on peut estimer à partir des données de comptabilité nationale, en rapportant la consommation de capital fixe au capital fixe en 2019. Un taux d'actualisation de 2,5 % est choisi.

Tableau A2 – Initialisation des paramètres structurels

Paramètres structurels	Valeur
σ	3
e_b	0,05
α	0,25
a_b	3,92
a_v	1,31
ρ	0,025
δ	0,05

Source : calcul des auteurs

Premiers résultats

Quatre principaux scénarios de transition, avec différents objectifs de réduction des émissions, sont évalués grâce au modèle-jouet :

- 1) zéro émission nette de GES à partir de 2050 ;
- 2) scénario 1 + cible intermédiaire de baisse des émissions nettes en 2030 de 55 % par rapport à 1990 (« Fit for 55 ») ;
- 3) scénario 1 + respect d'un budget carbone compatible avec un réchauffement de 1,5 °C ;
- 4) scénario 1 + cibles intermédiaires de baisse des émissions nettes tous les cinq ans, calibrées de sorte que le budget carbone de 1,5 °C est respecté.

Le budget carbone retenu est de 4,4 GtCO₂eq. Il est déduit du budget carbone global, compatible avec une limitation du réchauffement à 1,5 °C, proposé par le Giec (2022), par application de la part de la France dans la population mondiale en 2019.

Scénario 1 – Zéro émission nette à partir de 2050

Les investissements bruns commencent à baisser dès 2020, mais c'est seulement au début de la décennie 2030 qu'ils s'effondrent véritablement, pour tomber, en 2032, au niveau qui assure juste le renouvellement du capital brun protégé. L'évolution de l'investissement vert se fait en sens inverse. Alors qu'il est stable dans la décennie 2020, il connaît un « décollage » au début des années 2030, avec une accélération à l'approche de 2050 afin d'atténuer la baisse de la consommation qu'induirait l'échouage important du capital brun en 2049. En effet, celui-ci provoque une brusque décarbonation de l'économie et une forte réduction des capacités de production, qui doit être compensée par davantage de capital vert.

La transition du brun au vert est donc tardive : ce n'est qu'au bout d'une décennie que la contrainte ZEN 2050 enclenche vraiment le mouvement de transition.

Finalement, production et consommation baissent significativement en 2050, par rapport à 2019. La transition vers l'objectif ZEN induit donc une réduction de la consommation, et le surcroît d'investissement vert ne suffit pas à empêcher la production de baisser.

Au regard du budget carbone, l'objectif ZEN paraît insuffisant, puisqu'en 2050 plus de 9 GtCO₂eq ont été émises, en net, soit plus du double du budget. Celui-ci est même déjà quasi épuisé en 2030.

Scénario 2 – Zéro émission nette à partir de 2050 + « Fit for 55 » en 2030

L'ajout d'une cible intermédiaire en 2030 sur les émissions entraîne une baisse rapide de l'investissement brun, dont le niveau n'assure plus que le renouvellement du capital brun protégé dès le milieu des années 2020. Au même moment, l'investissement vert augmente. Il y a donc une avancée de la transition, qui est plus précoce que dans le scénario 1.

Néanmoins, le caractère ponctuel de la cible en 2030 génère un effet pervers. En effet, une fois que le capital brun s'est suffisamment déprécié pour satisfaire la nouvelle contrainte, il redevient rentable d'investir dans le brun pour quelques années encore. En résulte une trajectoire en dents de scie : l'investissement brun disparaît dans un premier temps, avant de réapparaître une fois que la contrainte ponctuelle se fait moins sentir.

L'objectif « Fit for 55 » ne permet pas non plus de respecter le budget carbone, puisque plus de 8 GtCO₂eq sont émises en net en 2050, soit près de deux fois le budget.

Scénario 3 – Zéro émission nette à partir de 2050 + budget carbone

L'ajout d'un budget carbone contraignant accélère la transition observée dans le scénario 1. Dès 2020, l'investissement brun disparaît tandis que l'investissement vert décolle. Concernant l'échouage du capital, il a maintenant lieu à deux moments : une fois, la première année, entraînant une forte baisse du capital brun, et une seconde fois en 2049, à la veille de la neutralité carbone.

Dans ce scénario, la baisse de l'investissement brun est sans retour. Une fois qu'il a atteint son niveau minimal, il n'y a plus d'incitation à le relancer.

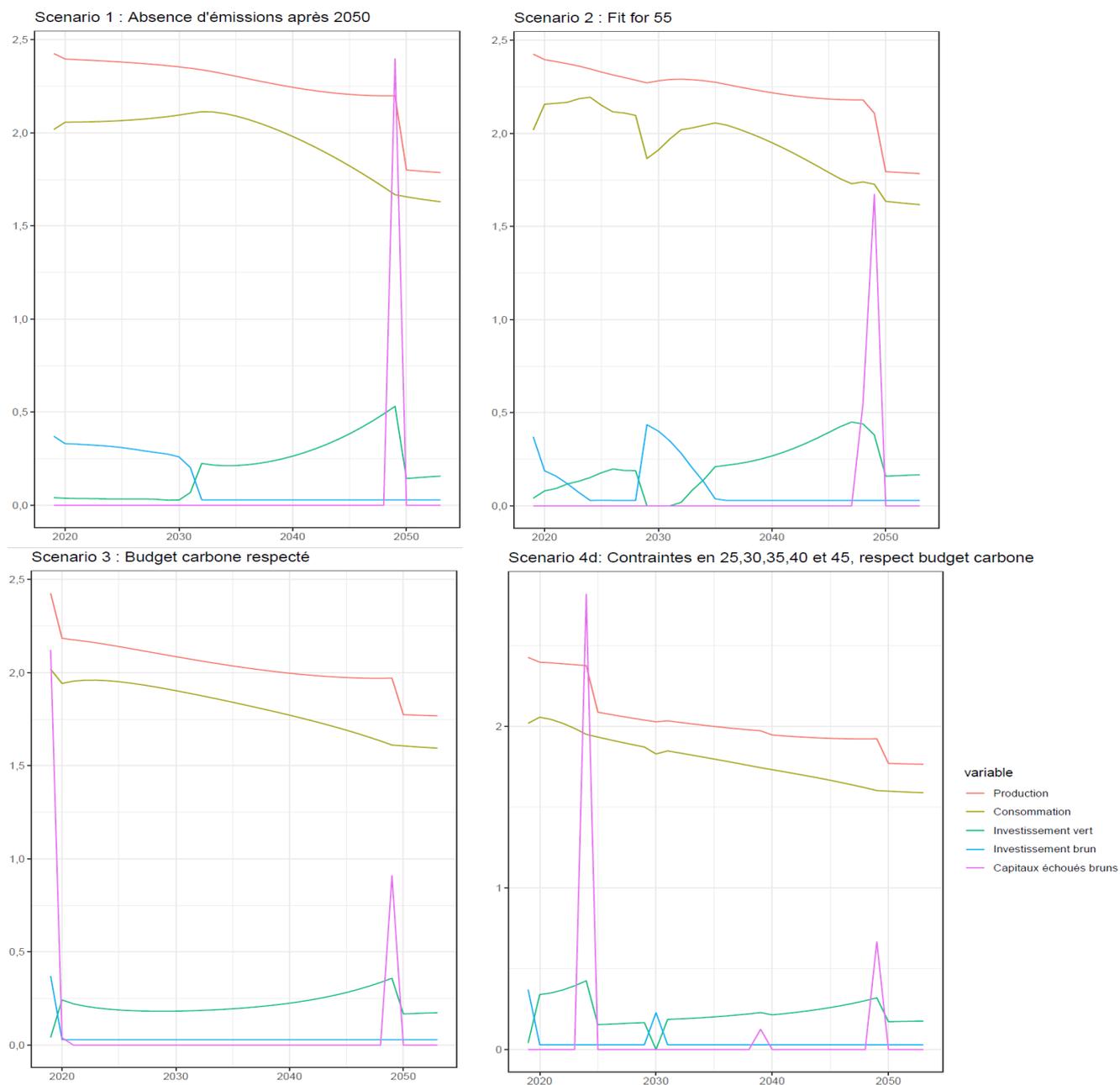
Scénario 4 – Zéro émission nette à partir de 2050 + cibles intermédiaires tous les cinq ans compatibles avec le respect du budget carbone

Ce scénario illustre la difficulté de faire respecter le budget carbone par l'utilisation de cibles d'émissions intermédiaires, y compris quand elles sont fixées à intervalle rapproché de cinq ans.

En effet, la forme de trajectoire en dents de scie, déjà observée dans le scénario 2, est ici encore plus marquée. D'abord pour l'investissement brun, qui disparaît dans la décennie 2020 (hors renouvellement du capital protégé) avant de réapparaître ponctuellement en 2030, puis de disparaître à nouveau. Ensuite pour l'investissement vert, qui connaît un essor au début des années 2020, disparaît en 2030, avant de croître à nouveau jusqu'en 2050. Enfin pour l'échouage du capital, qui se déroule ici en trois temps : en 2024, de manière très importante, un peu en 2039, et de manière significative en 2049, juste avant l'atteinte de la neutralité carbone.

Les cibles ponctuelles se révèlent être un outil délicat à ajuster pour le planificateur, en vue de respecter le budget carbone, et encore plus s'il souhaite éviter une évolution des investissements en dents de scie.

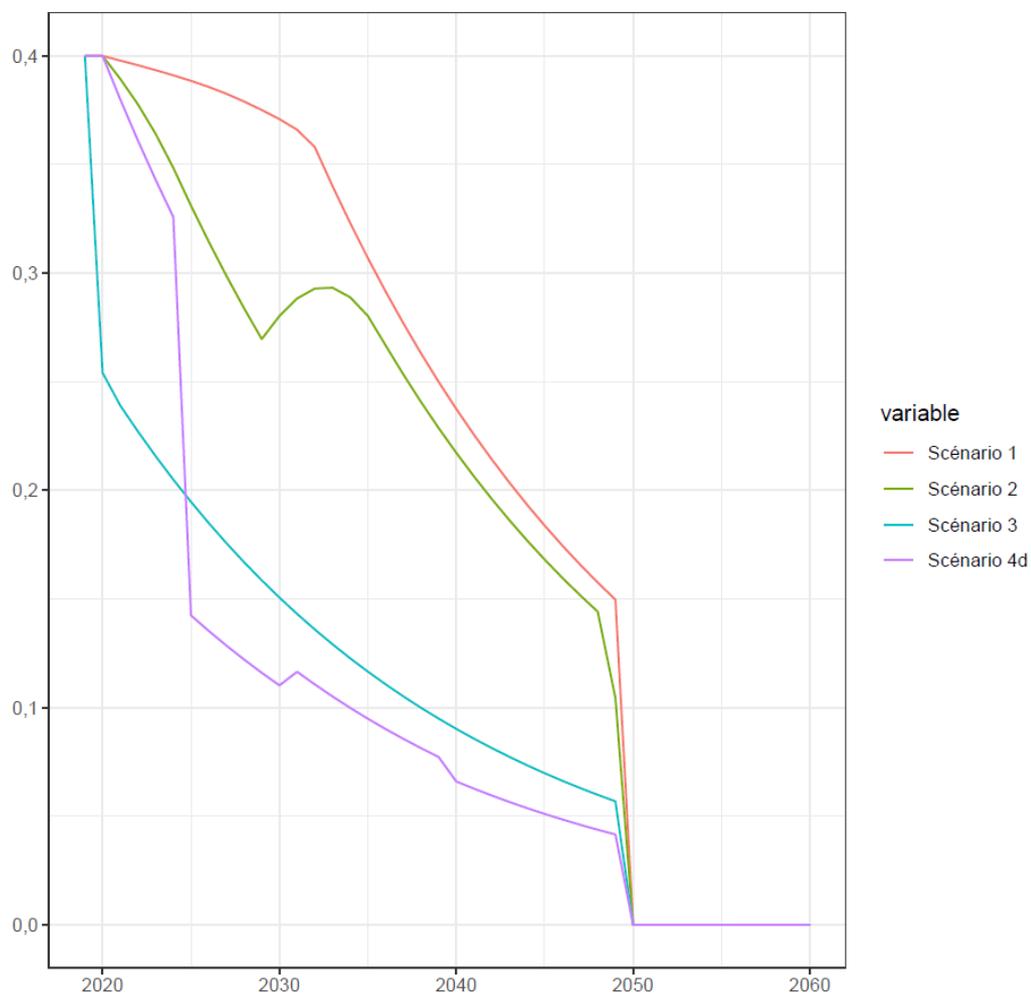
Graphique A1 – Trajectoires des principales grandeurs économiques pour les différents scénarios simulés



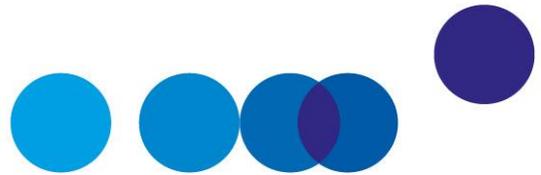
Lecture : pour chaque scénario sont représentées les trajectoires annuelles de production, consommation, investissement brun et vert, ainsi que le niveau de capital brun échoué, en milliards d'euros. Au-delà de 2050, l'ensemble de ces variables convergent vers leurs valeurs stationnaires d'équilibre de long terme de l'économie. Dans le scénario 3, le budget carbone correspond à celui devant être respecté pour limiter le réchauffement à 1,5 °C. Tous les scénarios sont effectués sous la contrainte de zéro émission nette à partir de 2050.

Source : Insee ; calcul des auteurs

Graphique A2 – Comparaison des niveaux d'émissions (en GtCO₂eq) entre les différents scénarios



Source : Insee ; calcul des auteurs



ANNEXE 2

REVUE DES ÉLASTICITÉS DE SUBSTITUTION

Référence	Période d'estimation	Type de données	Secteurs couverts	Sources des données	Forme fonctionnelle (1)	Définition de l'élasticité de substitution (2)	Méthode d'estimation économétrique	Élasticité	Résultats (3)
Henriet <i>et al.</i> (2014)	1986-2008	Comptes nationaux	Ensemble de l'économie	Insee, OCDE, FMI, CEREN et Pegase	CES (KE)L	Hicks	Non spécifié	KE	0,48*
								(KE)L	0,52*
van der Werf (2008)	1978-1996	Comptes nationaux	Six industries manufacturières et la construction	AIE et OCDE	CES (KE)L	Hicks	Pooled regression	KE	1,00*
					CES (KL)E			(KE)L	1,05*
								KL	0,42*
								(KL)E	0,35*
CES (LE)K	LE	0,79*							
(LE)K	0,38*								
Fiorito et van den Bergh (2015)	1981-2005	Comptes nationaux	Industries manufacturières	EU KLEMS	Fonction de coût de production <i>trans-log</i> statique KLE	CPES	3SLS	KE	-0,04*
								EK	-0,06*
								KL	-0,29*
								LK	-0,07*
								LE	-0,06*
						MES		EL	-0,34*
								KE	0,10**
								EK	0,06**
								KL	0,09**
								LK	0,08**
LE	0,04**								
EL	0,05**								

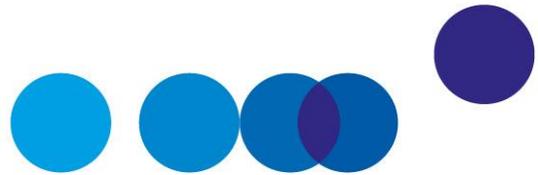
Référence	Période d'estimation	Type de données	Secteurs couverts	Sources des données	Forme fonctionnelle (1)	Définition de l'élasticité de substitution (2)	Méthode d'estimation économétrique	Élasticité	Résultats (3)
Lalanne <i>et al.</i> (2009)	1987-2008	Comptes nationaux	Secteur marchand	Insee	CES (KE)L	Hicks	OLS en différence	KE	0,23*
					(KE)L			0,36*	
					CES (KL)E			KL	1,00**
			(KL)E		0,44**				
			CES KLE		KLE		0,40**		
			CES (KL)E		OLS en niveau		KL	1,00**	
			(KL)E				0,29*		
			CES (KL)E				KL	1,00**	
			(KL)E				0,12*		
			CES (KL)E		KL		1,00**		
(KL)E	0,18**								
CES (KL)E	KL	1,00**							
(KL)E	0,20*								
Bretschger et Jo (2022)	1994-2015	Entreprises	Industries manufacturières	FARE et EACEI	CES LE	Hicks	Panel avec effets fixes	EL	0,80-0,81*
							Variables instrumentales	EL	0,61-0,64*

(1) Les fonctions sous-jacentes aux estimations économétriques sont de type fonction de production *Constant Elasticity of Substitution* (CES) ou fonction de coût de production *trans-log*, avec trois facteurs de production au maximum, capital (K), travail (L) et énergie (E). Les fonctions CES peuvent être imbriquées, alors indiquées par des parenthèses (par exemple, « (KL)E » indique que l'énergie est combinée avec un ensemble capital-travail, défini au second niveau par une autre fonction CES).

(2) Les élasticités de substitution sont définies au sens de Hicks (correspondant au paramètre usuel d'une fonction CES), de Morishima (MES) ou *cross-price* (CPES).

(3) * : significatif à 5 %, ** : calculé à partir des hypothèses relatives à la forme de la fonction de production, des données sous-jacentes ou des estimations économétriques.

Source : travaux des auteurs



BIBLIOGRAPHIE

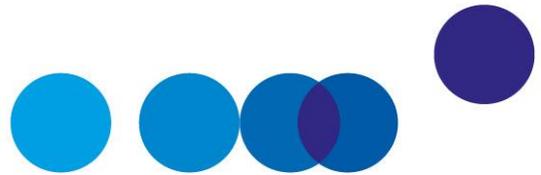
- ACPR (2021), « [A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise](#) », Banque de France, *Analyses et synthèses*, n° 122-2021, avril.
- Ademe, Seureco, Banque de France et Cired (2023), [Risques de transition : une analyse multi-modèles pour la France. Étude comparée de l'implémentation des scénarios du NGFS](#), rapport final, mars.
- AIE (2014), [World Energy Investment Outlook. World Energy Outlook Special Report](#), Agence internationale de l'énergie, juin.
- AIE (2013), [Redrawing the Energy Climate Map. World Energy Outlook Special Report](#), Agence internationale de l'énergie, juin.
- Allen T., Dees S., Boissinot J., Caicedo C. M., Chouard V., Clerc L., De Gaye A., Devulder A., Diot S., Lisack N., Pegoraro F., Rabaté M., Svartzman R. et Vernet L. (2020), « [Climate-related scenarios for financial stability assessment: An application to France](#) », Banque de France, Working Paper, n° 774, juillet.
- Baldwin E., Cai Y. et Kuralbayeva K. (2020), « [To build or not to build? Capital stocks and climate policy](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 100, mars.
- Banque d'Angleterre (2015), [The Impact of Climate Change on the UK Sector: A Climate Change Adaptation Report by the Prudential Regulation Authority](#), septembre.
- Baron R. et Fischer D. (2015), « [Divestment and stranded assets in the low-carbon transition](#) », document de référence pour la 32^e table ronde sur le développement durable le 28 octobre 2015, OCDE.
- Battiston S., Mandel A., Monasterolo I., Schütze F. et Visentin G. (2017), « [A climate stress-test of the financial system](#) », *Nature Climate Change*, vol. 7, mars, p. 283-288.
- Bonnet C., Carcanague S., Hache E., Seck G. et Simoën M. (2018), « [The nexus between climate negotiations and low-carbon innovation: A geopolitics of renewable energy patents](#) », EconomiX, Working Paper n° 2018-45, octobre.
- Bonneuil C. et Fressoz J.-B. (2016), *L'Évènement anthropocène. La Terre, l'histoire et nous*, Paris, Éditions du Seuil.

- Bretschger L. et Jo A. (2022), « [Complementarity between labor and energy: A firm-level analysis](#) », CER-ETH Economics working paper, mai.
- Broadstock D. C., Hunt L. et Sorrell S. (2007), « [UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 3: Elasticity of substitution studies](#) », UK Energy Research Centre, Working Paper, octobre.
- Cahen-Fourot L., Campiglio E., Godin A., Kemp-Benedict E. et Trsek S. (2021), « [Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilization](#) », AFD Research Papers, n° 204, mars.
- Caldecott B., Howarth N. et McSharry P. (2013), [Stranded Assets in Agriculture: Protecting Value from Environment-Related Risks](#), *Smith School of Enterprise and the Environment*, août.
- Caldecott B., Clark A., Koskelo K., Mulholland E. et Hickey C. (2021), « [Stranded assets: Environmental drivers, societal challenges, and supervisory responses](#) », *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 46, octobre, p. 417-447.
- Calel R. et Dechezleprêtre A. (2016), « [Environmental policy and direct technological change: Evidence from the European carbon market](#) », *Review of Economics and Statistics*, vol. 98(1), p. 173-191.
- Campanale M., Leggett J. et Leaton, J. (2011), [Unburnable Carbon: Are the World's Financial Markets Carrying a Carbon Bubble?](#), rapport, Carbon Tracker Initiative, juillet.
- Carbon Delta (2019), « [Modelling the impact of climate change on the financial risk of investments](#) », Finance for the Future.
- Carbon Tracker Initiative (2015), [The \\$2 Trillion Stranded Assets Danger Zone: How Fossil Fuel Firms Risk Destroying Investor Returns](#), rapport, juillet.
- Carney M. (2015), « [Breaking the tragedy of the horizon - Climate change and financial instability](#) », discours au Lloyd's of London le 29 septembre 2015.
- Channell J., Curmi E., Nguyen P., Prior E., Syme A. R. Jansen H. R., Rahbari E., Morse E. L., Kleinman S. M. et Kruger T. (2015), [Energy Darwinism II: Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth](#), Citigroup, août.
- Daumas L. (2023), « [Financial stability, stranded assets and the low carbon transition – A critical review of the theoretical and applied literatures](#) », *Journal of Economic Surveys*, mars.
- Dietz S., Bowen A., Dixon C. et Gradwell P. (2016), « Climate value at risk of global financial assets », *Nature Climate Change*, vol. 6, avril, p. 676-679.
- Dunz N., Naqvi A. et Monasterolo I. (2021), « Climate sentiments, transition risk, and financial stability in a stock-flow consistent model », *Journal of Financial Stability*, vol. 54(C).
- Ferrari M. et Pagliari M. S. (2021), « [No country is an island. International cooperation and climate change](#) », Banque de France, Working Paper n° 815, août.

- Fiorito G. et van den Bergh J. (2015), « Capital-energy substitution in manufacturing for seven OECD countries: learning about potential effects of climate policy and peak oil », *Energy Efficiency*, vol. 9(1), avril, p. 1-17.
- FMI (2022), « [A Greener Labor Market: Employment, Policies, and economic transformation](#) », chapitre 3 du *World Economic Outlook: War Sets Back the Global Recovery*, avril.
- Gantois T., Girard P. L. et Le Gall C. (2022), « [Évaluation de l'impact macroéconomique de la transition écologique : revue des modèles macro-environnementaux, usages et limites](#) », Direction générale du Trésor, document de travail n° 2022/2, septembre.
- Geels F. W. (2013), « [The impact of the financial-economic crisis on sustainability transitions: Financial investment, governance and public discourse](#) », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 6, mars, p. 67-95.
- Geels F. W., Sovacool B. K., Schwanen T. et Sorrell S. (2017), « [The socio-technical dynamics of low-carbon transitions](#) », *Joule*, vol. 1(3), novembre, p. 463-479.
- Generation Foundation (2013), « [Stranded carbon assets: Why and how carbon risks should be incorporated in investment analysis](#) », octobre.
- Giec (2022), *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change – Summary for Policymakers*, contribution du troisième groupe de travail au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Gourdel R., Monasterolo I. Dunz N., Mazzocchetti A. et Parisi L. (2022), « [The double materiality of climate physical and transition risks in the euro area](#) », Banque centrale européenne, Working Paper, n° 2665, mai.
- Hansen T. A. (2022), « [Stranded assets and reduced profits: Analyzing the economic underpinnings of the fossil fuel industry's resistance to climate stabilization](#) », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, avril.
- Henriet F., Maggiar N. et Schubert K. (2014), « [A stylized applied energy-economy model for France](#) », *The Energy Journal*, vol. 35(4).
- Ivanov I., Kruttli M. et Watugala S. (2020), « [Banking on carbon: Corporate lending and cap-and-trade policy](#) », SSRN Electronic Journal, avril.
- Irena (2017), « [Stranded assets and renewables: How the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock](#) », Agence internationale pour les énergies renouvelables, Working Paper, juillet.
- Jackson A. (2018), « A stock-flow consistent framework for the analysis of stranded assets and the transition to a low carbon economy », thèse de doctorat en environnement et développement durable à l'université de Surrey.
- Jacquetin F. (2021), « [Stress-tests climatiques par scénarios. De l'analyse de risques à la modélisation](#) », Ademe, document de travail, février.

- Lalanne G., Pouliquen E. et Simon O. (2009), « [Prix du pétrole et croissance potentielle à long terme](#) », Insee, document de travail, n° G2009/09, octobre.
- Lewis M. (2014), « [Stranded assets, fossilised revenues](#) », Kepler Cheuvreux, avril.
- Linquiti P. et Cogswell N. (2016), « [The Carbon Ask: Effects of climate policy on the value of fossil fuel resources and the implications for technological innovation](#) », *Journal of Environmental Studies and Sciences*, vol. 6, mai, p. 662-676.
- Manley D., Cust J. K. et Cecchinato G. (2017), « [Stranded nations? The climate policy implications for fossil fuel-rich developing countries](#) », Oxford Centre for the Analysis of Resource Rich Countries, Policy Paper, n° 34.
- McGlade C. et Ekins P. (2015), « The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C », *Nature*, vol. 517, janvier, p. 187-190.
- Mercenier J. et Michel P. (1994), « Discrete-time finite horizon approximation of infinite horizon optimization problems with steady-state invariance », *Econometrica*, vol. 62(3), mai, p. 635-556.
- Mercure J. F., Pollitt H., Viñuales J. E., Edwards N. R., Holden P. B., Chewpreecha U., Salas P., Sognnaes I., Lam A. et Knobloch F. (2018), « Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets », *Nature Climate Change*, vol. 8, juin, p. 588-593.
- Monasterolo I. (2020), « Climate Change and the Financial System », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 12, octobre, p. 299-320.
- Muldoon-Smith K. et Greenhalgh P. (2019), « [Suspect foundations: Developing an understanding of climate-related stranded assets in the global real estate sector](#) », *Energy Research & Social Science*, vol. 54, août, p. 60-67.
- Nelson D., Hervé-Mignucci M., Goggins A., Szambelan S. J., Vladeck T. et Zuckerman J. (2014), [Moving to a Low-Carbon Economy: The Impact of Policy Pathways on Fossil Fuel Asset Values](#), Climate Policy Initiative, coll. « CPI Energy Transition Series ».
- NGFS (2020), « [Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors](#) », Network for Greening the Financial System, juin.
- Papageorgiou C., Saam M. et Schulte P. (2017), « Substitution between clean and dirty energy inputs: A macroeconomic perspective », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 99(2), mai, p. 281-290.
- Paun A., Knight Z. et Chan W. S. (2015), « [Stranded assets: what next?](#) », HSBC Global Research, avril.
- Rozenberg J., Vogt-Schilb A. et Hallegatte S. (2017), « [Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital](#) », Inter-American Development Bank Working Paper, n° IDB-WP-782, mars.

- Saygin D., Rieger J., Caldecott B., Wagner N. et Gielen D. (2019), « Power sector asset stranding effects of climate policies », *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, vol. 14(4), p. 1-26.
- SDES (2021), « [Bilan énergétique de la France pour 2019](#) », *Data Lab – Énergie*, janvier.
- Semieniuk G., Holden P. B., Mercure J. F., Salas P., Pollitt H., Jobson K., Vercoulen P., Chewpreecha U., Edwards N. R. et Viñuales J. E. (2022), « Stranded fossil-fuel assets translate to major losses for investors in advanced economies », *Nature Climate Change*, vol. 12, mai, p. 532-538.
- Stern D. I. (2009), *Interfuel Substitution: A Meta-Analysis*, rapport de recherche, juin.
- Stern N. et Stiglitz J. (2021), « [The social cost of carbon, risk, distribution, market failures: An alternative approach](#) », NBER Working Paper n° 28472, février.
- TCFD (2017), *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosure*, rapport final, Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, juin.
- Thomä J., Fulton M., Ramirez L., Röttmer N. et Duran M. (2017), « [Changing colors. Adaptive capacity of companies in the context of a transition to a low-carbon economy](#) », 2 °C Investing Initiative, juillet.
- Timmer M. P., Dietzenbacher DE., Los B., Stehrer R. et de Vries G. J. (2015), « [An illustrated user guide to the World Input–Output Database: The case of global automotive production](#) », *Review of International Economics*, vol. 23(3), août, p. 575-605.
- van der Ploeg F. et Rezai A. (2021), « [Optimal carbon pricing in general equilibrium: Temperature caps and stranded assets in an extended annual DSGE model](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 110, octobre.
- van der Werf E. (2008), « [Production functions for climate policy modeling: An empirical analysis](#) », *Energy Economics*, vol. 30(6), novembre, p. 2964-2979.
- Wang J. (2022), « [Waiting or acting: The effects of climate policy uncertainty](#) », Job Market Paper, septembre.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaires de rédaction

Gladys Caré, Olivier de Broca

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

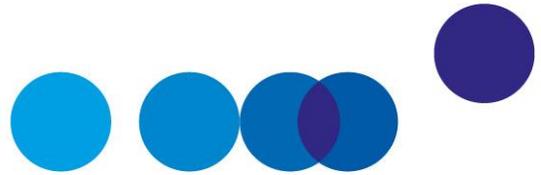
Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de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

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Enjeux distributifs

Rapport thématique

Vincent Marcus (coord.)



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Enjeux distributifs

Rapport thématique

Coordinateur

Vincent Marcus (CGDD)

Emmanuel Combet (Ademe/Cired), Frédéric Gherzi (Cired),
Meriem Hamdi-Cherif et Paul Malliet (OFCE), Matthieu Lequien (Insee),
Boris Le Hir et Caroline Pinton (CGDD), et Mathilde Viennot (France Stratégie)

MAI 2023

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

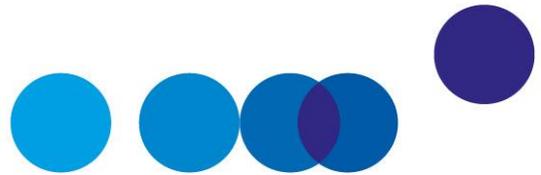
Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré aux enjeux distributifs des politiques de transition était placé sous la direction de Vincent Marcus (CGDD), en collaboration avec Emmanuel Combet (Ademe/Cired), Frédéric Gherzi (Cired), Meriem Hamdi-Cherif (OFCE), Matthieu Lequien (Insee), Boris Le Hir (CGDD), Paul Malliet (OFCE), Caroline Pinton (CGDD) et Mathilde Viennot (France Stratégie).

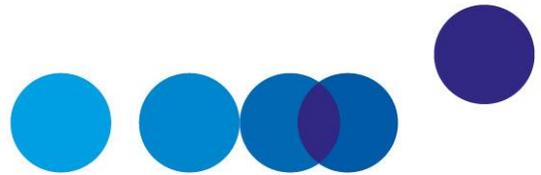
Les jugements et opinions exprimés par les auteurs n'engagent qu'eux-mêmes et non les institutions auxquelles ils appartiennent, ni a fortiori France Stratégie.



SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	11
Chapitre 1 – Les émissions de gaz à effet de serre des ménages : qui émet du CO₂ ?	13
1. Une empreinte écologique croissante avec le niveau de vie	13
1.1. Des choix méthodologiques qui dimensionnent les résultats	13
1.2. Une empreinte carbone croissante avec le revenu... et dépendante aussi d'autres facteurs	16
2. Deux postes d'émissions à enjeu : transports et logement	21
Chapitre 2 – Les ménages face aux politiques de transition énergétique	23
1. À court terme, une contrainte plus importante pour les plus modestes... mais pas que	23
1.1. Les ménages aisés dépensent plus pour l'énergie de leur logement et de transport, mais ces dépenses pèsent davantage dans le budget des plus pauvres	23
1.2. Des niveaux d'exposition des ménages également hétérogènes à niveau de revenu donné	25
2. Une adaptation conditionnée par la capacité d'investissement	29
2.1. Les ménages ne sont pas tous contraints de la même façon par leurs investissements passés.....	29
2.2. Les capacités et les incitations à investir des ménages concernés diffèrent selon le type d'investissement	31
3. Des freins sociologiques à lever	40
3.1. La maison individuelle	41
3.2. L'automobile	41
3.3. Les régimes alimentaires	42

Chapitre 3 – Les effets du bouclage macroéconomique	45
1. Des effets inflationnistes différenciés	45
2. L'inégalité face aux transformations des emplois	47
3. Concilier les enjeux macroéconomiques et distributifs sous contrainte de maîtrise budgétaire	49
3.1. Le choix de politiques publiques pour la transition affectera la contrainte budgétaire dans laquelle s'inscrira le soutien aux ménages et à l'économie.....	49
3.2. Pour accompagner la transition, des arbitrages nécessaires entre politiques économiques et politiques distributives	51
3.3. La diffusion du progrès technique pour alléger la tension entre équité et performance économique	52
Conclusions	55
ANNEXES	
Annexe 1 – Empreinte carbone : définition et mesure	61
Annexe 2 – Quelques évaluations détaillées combinant macroéconomie et effets distributifs	65
Annexe 3 – Quelles méthodes pour intégrer des ménages hétérogènes dans la modélisation macroéconomique ?	75
Bibliographie	79



SYNTHÈSE

La crise des Gilets jaunes a rappelé, dans un contexte de hausse des prix de l'énergie et de renforcement de la taxe carbone, que la transition bas-carbone affecte les individus et les ménages de façon très diverse. Le coût de la transition peut être considérable pour certaines catégories de la population si aucune attention n'est portée sur la répartition de l'effort. Sous quelles dimensions et avec quelle ampleur l'impact des politiques de transition climatique varie-t-il entre les ménages ? Quels sont les ménages les plus vulnérables face aux politiques de transition climatique ?

Dans ce contexte, les politiques de lutte contre le réchauffement climatique doivent faire face à une triple tension entre les objectifs d'efficacité environnementale, d'efficacité macroéconomique et d'équité. Quelles politiques mettre en place pour limiter l'accroissement des inégalités tout en garantissant l'efficacité environnementale et sans compromettre l'efficacité économique ? Quels sont les instruments ou combinaisons d'instruments qui permettent de concilier au mieux ce triple enjeu ?

Ce rapport tente de consolider les éclairages qu'apportent les travaux universitaires et des administrations sur ces questions. Les principaux messages qui en ressortent sont résumés ici.

1. Malgré une relative concentration des émissions sur certaines catégories de ménages, l'atteinte des objectifs nécessite l'effort de tous

Les ménages émettent différemment selon leurs caractéristiques. En premier lieu, le niveau d'émission de GES des ménages est d'autant plus important que leurs revenus sont élevés. D'après les études disponibles, l'empreinte carbone des ménages du 10^e décile de niveau de vie (autour de 45 tCO₂e/an en moyenne par ménage) serait trois fois plus élevée que celle du 1^{er} décile (15 tCO₂e/an en moyenne par ménage). Outre le niveau, la composition des émissions diffère avec le revenu.

D'autres caractéristiques des ménages, comme leur lieu de résidence, influent sur leur niveau d'émissions. Les ménages ruraux émettraient en moyenne entre 40 % et 50 % de plus de GES que les ménages habitant dans les plus grandes unités urbaines.

Les émissions de GES sont certes inégales entre catégories de ménages, mais les inégalités ne sont pas assez marquées pour limiter l'effort à certaines tranches de la population. Même si les 20 % des ménages les plus aisés sont responsables de 30 % de l'empreinte carbone de la consommation française, la moitié des ménages les moins aisés reste responsable de près de 40 % des émissions. En outre, les évaluations actuelles d'empreintes carbone par catégorie de ménages surévaluent probablement l'empreinte des ménages les plus aisés du fait notamment d'une prise en compte insuffisante des différences de qualité des biens consommés par les différentes catégories de ménages.

2. Les ménages à faibles revenus et ceux résidant dans les territoires peu denses ou éloignés des centres-villes apparaissent particulièrement exposés aux coûts de la transition climatique

Les écarts d'émissions de GES entre déciles sont inférieurs aux écarts de revenus. Le rapport interdécile (D9/D1) est de l'ordre de 2 pour les émissions contre environ 3,5 pour les niveaux de vie¹. Par conséquent, les ménages les plus modestes sont ceux pour lesquels la contrainte carbone, via une tarification du carbone par exemple, pèserait le plus dans leur revenu. De fait, le poids de la facture énergétique dans le revenu est beaucoup plus important pour ces ménages que pour les ménages aux revenus les plus élevés. À taille identique², les ménages du dixième décile dépensent près de 60 % de plus que les ménages du premier décile (+40 % pour le D9) en énergie pour le logement et le transport. Mais ces dépenses ne représentent que 3 % des revenus³ pour les ménages du D10 (5 % pour le D9) contre 20 % pour les ménages du D1. Les ménages les moins aisés apparaissent donc bien plus exposés aux risques de transition que les ménages les plus aisés malgré leurs niveaux d'émissions inférieurs.

Le revenu n'est pas le seul facteur influant sur l'exposition des ménages à une hausse des prix de l'énergie. Les ménages résidant dans les territoires peu denses, éloignés des infrastructures de transport des villes sont davantage exposés que la moyenne. À décile de revenu donné, le taux d'effort énergétique pour le logement et les transports est supérieur d'environ 3 points entre ceux résidant dans une commune d'un pôle et ceux résidant dans les couronnes éloignées des centres-villes ou dans les zones rurales hors attraction des villes. Les plus jeunes seraient aussi davantage exposés que les plus âgés.

¹ Demaison C., Grivet L. et Maury-Duprey D. (2019), *France. Portrait social*, coll. « Insee Références ».

² Dépenses mesurées par unité de consommation (UC), unité qui prend en compte la composition des ménages pour convertir leur revenu en niveau de vie, au moyen d'une « échelle d'équivalence ». Celle-ci intègre classiquement à la fois le nombre de personnes du ménage, leur âge, et l'existence d'économies d'échelle. L'échelle attribue 1 UC au premier adulte du ménage, 0,5 UC aux autres personnes de 14 ans ou plus et 0,3 UC aux enfants de moins de 14 ans.

³ Aussi appelé taux d'effort énergétique, défini comme la part de la facture énergétique dans le revenu du ménage.

Pour bien appréhender l'hétérogénéité des risques d'expositions, les différences de capacité d'adaptation et de perception des ménages face aux politiques climatiques doivent aussi être prises en compte (voir aussi les rapports thématiques *Sobriété* et *Modélisation*). L'exposition au coût de la transition, mesuré par le poids *ex ante* des émissions ou de la consommation énergétique, ne tient pas compte des changements de comportement et des possibilités d'adaptation qui permettent d'alléger la contrainte. De multiples facteurs sont susceptibles d'influencer les capacités d'adaptation des ménages aux politiques d'atténuation. Trois types de freins à la capacité des ménages à changer leur mode de vie peuvent être distingués :

- **Les ménages sont contraints par leurs investissements passés.** Leurs consommations d'énergie sont en effet soumises à des phénomènes de *lock-in* ou de dépendance aux choix passés. En particulier, le lieu de vie dans lequel un ménage s'est investi le contraint très fortement dans les modes de transports dont il dispose ou son mode de chauffage. Les actifs vulnérables à la transition bas-carbone sont détenus en quantité plus importante par certaines catégories de ménages. Les couronnes des aires urbaines semblent notamment concentrer une partie importante des ménages les plus exposés sous cet aspect.
- **L'ampleur des coûts d'investissement initiaux à réaliser** peut s'avérer incompatible avec les contraintes de budget des ménages les moins aisés. Acheter une voiture à faibles émissions peut encore difficilement se faire sur le marché de l'occasion et implique une dépense importante que tous les ménages ne peuvent se permettre. Isoler sa maison ou installer une pompe à chaleur pour réduire l'intensité carbone de son chauffage représente aussi des sommes considérables même si celles-ci peuvent être compensées à terme par des économies d'énergies. Les besoins d'investissements pour décarboner le parc de véhicules particuliers pourraient particulièrement affecter les ménages à faibles revenus. Pour le logement, certains contextes organisationnels, comme les situations de propriétaire bailleur ou de copropriété par exemple, peuvent aussi limiter les incitations des ménages à investir.
- **Les facteurs sociologiques** jouent aussi un rôle primordial dans les capacités des individus à modifier leur comportement. Conduire un 4x4 ou manger bio n'est pas qu'une simple question de choix ou de revenu : ces pratiques renvoient à des normes de consommation, à des symboles propres à chaque groupe social, qui en fondent l'appartenance et les délimitent. De ce point de vue, les nouvelles normes écologiques peuvent aussi être perçues comme une forme de distinction des classes aisées qui peuvent s'offrir le choix d'une certaine frugalité.

Paradoxalement, les travaux sur l'élasticité-prix des consommations d'énergie en matière de transports et de logement concluent généralement à une plus grande réactivité aux prix des ménages pauvres¹. Néanmoins, plus qu'une capacité d'adaptation, ces résultats

¹ Voir par exemple Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41(3), juillet.

révèlent des comportements de restriction sous contrainte budgétaire. Les freins à l'adaptation identifiés plus haut affectent en effet bien davantage les populations déjà fortement exposées aux coûts de la transition.

3. Au-delà des effets directs des politiques d'atténuation du changement climatique, les écarts d'impacts macroéconomiques indirects entre catégories de ménages pourraient être d'un ordre comparable aux effets directs

Parmi les effets macroéconomiques indirects, les effets inflationnistes de la transition tels qu'identifiés dans le rapport thématique *Inflation* affecteront les ménages inégalement, dans une ampleur qui reste à préciser.

La reprise de l'inflation sur la période récente tirée par les prix de l'énergie peut en donner un aperçu. Bourgeois et Lafrogne-Joussier (2022) montrent que la hausse des prix de l'énergie entre le deuxième trimestre 2021 et le deuxième trimestre 2022, qui a contribué à 3,1 points d'inflation en France, aurait pesé plus fortement sur les ménages les plus pauvres : l'inflation aurait été de 3,3 points pour les ménages du premier décile, contre 2,7 points pour ceux du décile le plus élevé. Les postes de dépenses transport et logement étant les plus affectés, l'inflation aurait de même été différente entre catégories de territoires. Elle aurait affecté davantage les territoires peu denses loin des centres des zones d'emploi, ou les couronnes des aires urbaines que leurs pôles.

Dans une approche tenant compte des effets de la hausse des prix sur les revenus (de par la renégociation salariale, la revalorisation des barèmes sociofiscaux et le décalage temporel des impôts), Biotteau et Fontaine (2017) montrent toutefois qu'une hausse générale des prix affecterait moins le revenu disponible des plus modestes que celui des plus aisés : un choc d'un point d'inflation supplémentaire génèrerait une baisse moyenne du revenu disponible réel de 0,3 % deux ans après, mais cette baisse ne serait que de 0,1 % pour les 10 % des ménages les plus modestes, contre 0,6 % pour les 10 % les plus aisés. D'un côté, les bas salaires sont plus fortement indexés sur les prix que les hauts salaires et les transferts sociaux, souvent indexés sur les prix, représentent une part plus élevée dans les revenus des premiers déciles. De l'autre, la part des revenus d'activité et du patrimoine, qui s'ajustent peu aux prix, est plus élevée parmi les revenus des derniers déciles.

Les effets sur l'emploi décrits dans le rapport thématique *Marché du travail* apparaissent comme le second élément majeur d'hétérogénéité de l'impact de la transition entre catégories de ménages. Si le bilan net en termes de création ou de destruction d'emplois de la transition bas-carbone reste incertain, il est établi que celle-ci génèrera des réallocations importantes. Des emplois seront créés dans le secteur de la rénovation des bâtiments ou dans la filière des énergies renouvelables quand d'autres seront probablement détruits dans la filière automobile. Les réallocations anticipées conduisent à prévoir une accentuation de la

polarisation de l'emploi en matière de qualification avec un accroissement des besoins à la fois sur les profils les plus qualifiés (cadres, techniciens) et les profils peu qualifiés.

Au final, la distribution de ces effets indirects pourrait être différente de celle des effets directs. Les effets directs et indirects peuvent donc se compenser dans certains cas (l'entrepreneur du bâtiment pourrait voir son activité professionnelle et ses revenus s'améliorer malgré les coûts liés à la transition qu'il devrait supporter) tout comme ils peuvent s'additionner dans d'autres (le garagiste de zone rurale pourrait être affecté à la fois dans son activité professionnelle et dans ses conditions de vie).

4. Ce que l'on peut tirer des conclusions analytiques pour l'élaboration des politiques publiques

L'approche analytique montre par quels canaux et avec quelle ampleur la transition est susceptible d'affecter les ménages de façon différenciée. Toutefois, les inégalités face à la transition ne sont pas inéluctables. Les impacts réels de la transition sur les différentes catégories de ménages restent largement dépendants des politiques de transition et des politiques d'accompagnement qui seront mises en œuvre. En particulier, ils dépendent de la manière dont le choc d'offre pourra être atténué du côté des entreprises et de la manière dont le financement de l'effort sera partagé. La prise en compte de l'hétérogénéité d'exposition des ménages au coût de la transition est primordiale à la fois pour garantir l'équité des efforts de transition et pour limiter les freins à la transition.

Quel que soit l'instrument utilisé (réglementation, norme, subvention, taxe), les politiques climatiques ont toutes des impacts différenciés entre les catégories de ménages.

Face à la tension entre les objectifs d'efficacité environnementale, d'efficacité macroéconomique et d'équité, un consensus scientifique est établi sur l'intérêt de renforcer la fiscalité écologique sur les entreprises et les ménages et, en contrepartie, d'accompagner les ménages vulnérables et de réduire des prélèvements obligatoires préexistants qui pèsent sur les facteurs de production. Devant le niveau d'effort de réduction désormais attendu, se passer de fiscalité environnementale en complément des réglementations et des aides apparaît coûteux : le renforcement du prix du carbone produit des effets de sobriété et réduit donc les besoins d'investissement et le coût macroéconomique des dispositifs de soutien. À défaut, les surcoûts macroéconomiques et l'inflation seront au mieux identiques, voire supérieurs, et les ressources disponibles pour financer les mesures d'accompagnement et de compensation moindres, alors que ces dernières à destination des ménages pourraient représenter jusqu'à un point de PIB en lien avec l'objectif « Fit for 55 » en 2030.

Le recours aux subventions se justifie pour lever certains freins à l'investissement et accompagner les ménages vulnérables aux capacités d'investissement limitées. Leur mise en œuvre dans un contexte de politiques de relance permet de faire d'une pierre deux coups

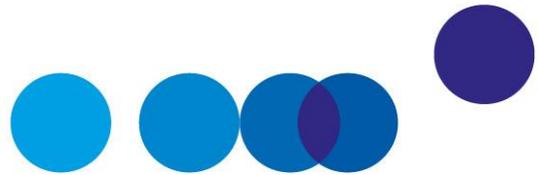
(France 2030 et IRA et IJJA aux États-Unis). En outre, l'acceptabilité sociale de ce type d'instrument apparaît largement supérieure à celle de la fiscalité. Néanmoins, comme le rappelle Blanchard *et al.* (2022), « la subvention de quelqu'un est toujours un impôt pour quelqu'un d'autre¹ ». Elles doivent donc être utilisées à bon escient. Les subventions, prises également dans un dilemme entre équité et efficacité, restent en outre délicates à cibler et à dimensionner. Des subventions qui cherchent à maximiser la réduction des émissions favoriseront plutôt les ménages aisés, qui consomment davantage d'énergie pour leur logement et qui se déplacent plus avec des voitures plus grosses, au risque d'accroître les inégalités futures. De l'autre côté, la prise en charge du coût de la transition pour les ménages « vulnérables » les plus contraints économiquement et sans accès à court terme aux alternatives à l'usage des énergies fossiles reste indispensable face au montant initial des investissements à réaliser et à la faiblesse de leurs marges de manœuvre financière. Pour atteindre ses objectifs, ce ciblage devrait considérer les inégalités de situation au-delà des seules différences de revenu, compte tenu de leur grande variabilité (à niveau de vie donné, le taux d'effort énergétique peut varier d'un facteur 2 ou plus entre les ménages) et des inégalités d'accès aux alternatives à moyen terme.

Même si indispensables, la fiscalité environnementale et les aides ne suffiront pas. Des politiques publiques structurelles permettant de faciliter le changement des conduites individuelles seront aussi nécessaires. Cela inclut les investissements en infrastructures (transport en commun, réseau de recharge électrique, réseaux électriques et de chaleur, structuration et développement d'une offre de qualité pour les travaux de rénovation énergétique, etc.) et en innovation. Mais aussi des politiques favorisant une transformation profonde des habitudes de vie et des pratiques de consommation des ménages, et donc des normes sociales et des dimensions symboliques qui les sous-tendent. Celles-ci échappent aujourd'hui à la seule analyse économique (voir le rapport thématique [Sobriété](#)).

5. L'amélioration des connaissances microéconomiques est urgente pour la bonne conception des politiques de transition

Le ciblage des politiques publiques pose un réel défi opérationnel à celles-ci, qui ne peuvent pas à l'heure actuelle s'appuyer sur un système d'information adéquat, qui reste à construire ou à organiser de manière plus décentralisée avec les collectivités territoriales et les acteurs sociaux. Faute d'en disposer, les aides tarifaires exceptionnelles décidées dans le contexte des prix élevés des énergies ont bénéficié à tous à la mesure des consommations de chacun, et donc davantage en proportion aux ménages aisés, pour un coût budgétaire non soutenable, dont le financement peut avoir *in fine* des conséquences négatives sur les plus modestes (baisse de la dépense publique, hausse des impositions générales, etc.).

¹ Blanchard O., Gollier C. et Tirole J. (2022), « [The portfolio of economic policies needed to fight climate change](#) », PIIE, Working Paper, novembre.



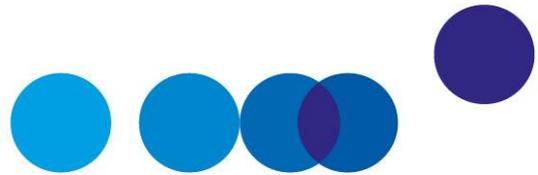
INTRODUCTION

Les transformations nécessaires de notre modèle économique à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique risquent d'affecter les ménages de façon très diverse : exposition différente aux conséquences du réchauffement selon le revenu, l'âge, le territoire habité ; marges de manœuvre plus ou moins immédiates et importantes pour « investir », « changer », « consommer moins » ; ou encore tout simplement « gagnants » et « perdants » de la transition en termes d'emploi, de reste à vivre, de bien-être.

Les effets sur les ménages de cette transition vont au-delà des coûts les plus directs que nous percevons dès aujourd'hui : prix des carburants et des énergies de chauffage, obligations réglementaires générant des surcoûts, etc. Les effets de bouclage macroéconomique (effet prix, effet emploi, effet finances publiques, etc.) les affecteront *in fine* également de manière très différenciée.

Afin de neutraliser le plus possible ces effets directs et indirects pour les ménages les plus vulnérables, beaucoup parlent déjà de « mesures de compensation ». Mais au-delà de la discussion sur leur ciblage, leur ampleur, et sur leur efficacité à réduire les inégalités, ces mesures de compensation des ménages, prises au titre des enjeux d'équité, peuvent également avoir des effets macroéconomiques indésirables et les impacter en retour. Elles ne doivent pas, non plus, affaiblir l'action environnementale en maintenant, par exemple, la dépendance aux énergies fossiles de certains. Comment dès lors construire une politique macroéconomique de transition qui permette de tenir ensemble les objectifs environnementaux, les résultats macroéconomiques et les enjeux (re)distributifs ?

Dans le cadre de ce rapport thématique, nous nous concentrerons tout d'abord sur les inégalités d'émissions de gaz à effet de serre des ménages, selon plusieurs critères sociodémographiques. Dans une seconde partie, nous examinerons la capacité des ménages à engager la transformation de leur consommation et de leurs investissements et les freins auxquels ils font face, que ce soit à court terme en raison de dépenses contraintes, ou à long terme en raison des normes sociales qui structurent les modes de vie, en fonction aussi du calibrage et du ciblage des politiques publiques et des subventions à leur intention ; nous nous intéresserons enfin aux effets macroéconomiques, et aux conséquences de l'hétérogénéité des comportements des ménages dans la transition environnementale.



CHAPITRE 1

LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DES MÉNAGES : QUI ÉMET DU CO₂ ?

1. Une empreinte écologique croissante avec le niveau de vie

La transition vers la neutralité carbone va supposer une réduction majeure des émissions de gaz à effet de serre et impacter en conséquence les comportements de consommation des ménages qui sont en regard de ces émissions.

Combien les ménages émettent-ils de gaz à effet de serre, par leurs comportements de consommation et leurs modes de vie ? Comment ces émissions, qu'elles soient directes ou générées plus largement par toute la chaîne de production des biens et services consommés par les ménages (on parlera alors généralement d'empreinte, voir [Annexe 1](#)) sont-elles distribuées entre les différentes catégories de ménages ?

1.1. Des choix méthodologiques qui dimensionnent les résultats

L'étude de la distribution des émissions de gaz à effet de serre au sein de la population des ménages n'est pas triviale. La majorité des travaux sur la distribution de ces émissions en France, qu'ils s'intéressent uniquement aux émissions directes (Berry, 2019¹ ; Douenne, 2020²), ou qu'ils incluent également les émissions indirectes (Malliet, 2020³ ; Pottier *et al.*, 2020⁴) se fonde sur des données individuelles d'enquête de type *Budget de famille* (Encadré 1), qui permettent, à partir des dépenses de consommation ventilées en un nombre plus ou moins grand de biens et services, de déterminer le montant de l'empreinte carbone,

¹ Berry A. (2019), « [The distributional effects of a carbon tax and its impact on fuel poverty: A microsimulation study in the French context](#) », *Energy Policy*, vol. 124(C), p. 81-94.

² Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes... », *op. cit.*

³ Malliet P. (2020), [La contribution des émissions importées à l'empreinte carbone de la France](#), Sciences Po publications.

⁴ Pottier A., Combet E., Cayla J.-M., de Lauretis S. et Nadaud F. (2020), « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 169(5), p. 73-132.

en mobilisant des facteurs d'intensité exprimés par unité monétaire (grammes de CO₂e par euro) pour chaque produit identifié et pour chaque observation. Ceci est fait moyennant certaines hypothèses qui ne sont pas sans impact sur les résultats (voir Encadré 2 *infra*).

Encadré 1 – Enquêtes *Budget de famille*

Les enquêtes de type *Household Budget Surveys (HBS)* sont des enquêtes statistiques conduites dans l'ensemble des pays membres de l'Union européenne qui visent à renseigner sur la structure nationale des revenus et dépenses de consommation des ménages. Sa mouture française, l'enquête *Budget de famille*, conduite par l'Insee tous les six ans en moyenne, porte sur un échantillon d'environ 15 000 ménages représentatifs de la population française. En plus de fournir, comme l'ensemble des enquêtes HBS, de l'information statistique sur la structure des dépenses, elle intègre un ensemble large d'autres variables socioéconomiques, comme le lieu de résidence, le type d'habitat et ses caractéristiques ou encore leurs déplacements. D'autres sources de données peuvent également être mobilisées pour préciser les facteurs d'intensité carbone sur des champs plus spécifiques, sur lesquels elles sont plus précises (comme l'enquête *Logement* ou l'enquête *Mobilité des personnes*).

Le recours à ce type de micro-données permet non seulement de documenter l'hétérogénéité dite *verticale* (liée à l'échelle des revenus), mais également celle liée à d'autres dimensions qui pour certaines ont un pouvoir explicatif important sur la distribution des émissions. Ces dimensions qu'elles soient relatives à la nature du logement, au lieu de résidence, au type de transport utilisé ou encore à la catégorie sociale du ménage, induisent des différences qui conduisent à une hétérogénéité dite *horizontale*, c'est-à-dire au sein d'une même classe de revenu.

La question de cette double hétérogénéité a ainsi été étudiée dans le cadre de la mise en œuvre de la contribution climat énergie, et notamment dans le contexte de protestation sociale issue du mouvement des Gilets jaunes (Douenne et Fabre, 2022¹ ; Chiroleu-Assouline, 2022)².

Certains travaux proposent également une estimation de l'empreinte carbone à partir de la distribution des revenus au sein de la population, associée à une élasticité

¹ Douenne T. et Fabre A. (2022), « [Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion](#) », *American Economic Journal-Economic Policy*, vol. 14(1), p. 81-110.

² Chiroleu-Assouline M. (2022), « [Rendre acceptable la nécessaire taxation du carbone quelles pistes pour la France ?](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 176, p. 15-53.

consommation-revenu¹ pour inférer le niveau des dépenses (Chancel et Piketty, 2015² ; Chancel, 2022³) et donc des émissions.

Selon la méthode retenue, le périmètre retenu, et surtout les hypothèses d'allocation, le profil de la distribution des empreintes par niveau de vie peut être plus ou moins marqué.

La demande intérieure finale à laquelle sont associées des émissions repose en effet sur trois composantes : la consommation finale des ménages, la dépense des administrations publiques, et l'investissement (FBCF). L'attribution des émissions des administrations publiques (APU) et des institutions sans but lucratif aux services des ménages⁴ (ISBLM) aux ménages est généralement retenue (Malliet, 2020 ; Pottier *et al.*, 2020) dans la mesure où les services générés bénéficient à la population générale.

Le traitement et l'attribution des émissions relatives à l'investissement sont beaucoup plus variables : de nombreuses études ne les incluent pas dans le périmètre des émissions à attribuer aux ménages (par exemple Pottier *et al.*, 2020), et l'indicateur d'empreinte carbone par ménage est alors de fait restreint à la consommation finale. Pour Chancel (2022), l'empreinte carbone induite par la demande finale pour investissement étant le corollaire de l'épargne, les émissions associées à cette demande (environ 16 % du total des émissions de la demande finale intérieure) sont imputées aux ménages en fonction leur capacité d'épargne (et de leur détention de patrimoine). Ces choix ont des conséquences fortes, car le taux d'épargne est très fortement croissant avec le niveau de revenu (les 20 % des ménages les plus aisés épargnent 28 % de leur revenu, contre 3 % pour les 20 % les plus modestes⁵), et le patrimoine beaucoup plus concentré que le revenu (les 5 % des ménages les plus riches détiennent par exemple quasiment la moitié du patrimoine financier des ménages). L'investissement est également plus intensif en carbone que la consommation. Au final, dans cette approche (Chancel, 2022), le rapport interdécile d'empreinte est de 5⁶, et non plus de l'ordre de 2 lorsque les émissions liées à l'investissement sont allouées aux biens de consommation auxquels ils correspondent.

¹ Pour une revue de littérature sur les estimations d'élasticité entre empreinte carbone et revenu, voir Pottier A. (2021), « [Expenditure-elasticity and income-elasticity of GHG emissions-a survey of literature on household carbon footprint](#) », *Ecological Economics*, vol. 192.

² Chancel L. et Piketty T. (2015), *Carbon and inequality: From Kyoto to Paris*, Paris School of Economics.

³ Chancel L. (2022), « [Global carbon inequality over 1990-2019](#) », *Nature Sustainability*, vol. 5, p. 931-938.

⁴ En comptabilité nationale, ce secteur recouvre principalement d'une part les syndicats, partis politiques, Églises et congrégations religieuses, clubs sociaux, culturels, récréatifs et sportifs et d'autre part les organismes de charité et associations de bienfaisance.

⁵ Chancel (2022), « [Global carbon inequality over 1990-2019](#) », *op. cit.*

⁶ Calculé à partir des données par individu et uniquement pour le CO₂. Accessible via le portail [World Inequality Database \(WID\)](#) (consulté le 24 avril 2023). Le rapport entre les émissions moyennes des ménages du 10^e décile et celles du 1^{er} décile est quant à lui de 9,6 dans cette approche, contre 3,1 par exemple dans Malliet P. (2020), *La contribution des émissions importées à l'empreinte carbone de la France*, *op. cit.*

Ces écarts soulignent que la distribution de l'empreinte ne découle pas simplement d'une méthodologie comptable, mais repose sur des hypothèses d'allocation qui peuvent être très impactantes.

1.2. Une empreinte carbone croissante avec le revenu... et dépendante aussi d'autres facteurs

En moyenne, Malliet (2020)¹ estime que les ménages français ont une empreinte carbone de 26,5 tonnes de CO₂eq par ménage², dont 22,3 tonnes d'émissions indirectes qui se décomposent comme suit : 8,5 tonnes provenant des biens de consommation (hors alimentation), 4,7 tonnes de l'alimentation, et 2,7 tonnes de la consommation de services (hors transports et logement) ; 2,8 tonnes concernent les services de transports (par opposition aux déplacements réalisés avec leur équipement personnel) et 0,85 tonne pour les services de logement ; les émissions socialisées via la dépense publique représentent enfin 2,8 tonnes par ménage. Les émissions directes (liées donc aux consommations directes d'énergie par les ménages) représentent quant à elles 4,2 tonnes : 2,6 tonnes liées au transport et 1,6 tonne liée au logement.

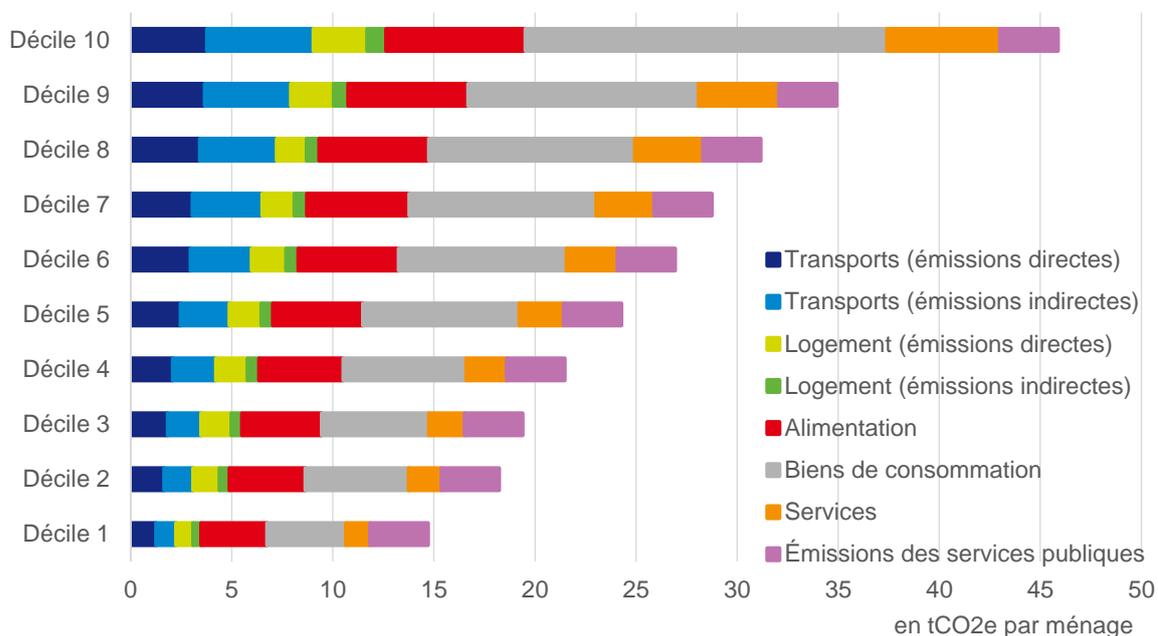
L'empreinte carbone est croissante avec le revenu (Graphique 1), avec un rapport interdécile de 2,2 et une élasticité émissions-revenu estimée à 0,54³, ce qui confirme que les inégalités d'empreinte restent moindres que celles de revenu. L'évolution de la structure de consommation en fonction de celle du revenu se traduit donc par une relation inversée entre le niveau de revenu et celui de l'intensité moyenne en CO₂ de la consommation. Cela s'explique par la diminution relative du poids des postes de dépenses les plus intensifs en émissions, comme les dépenses directes d'énergie ou l'alimentation, au profit d'une augmentation du poids de postes relativement moins émetteurs comme ceux des services, et qui se traduit par un écart de 15 % entre l'intensité carbone de la consommation des ménages appartenant au premier décile et ceux du neuvième.

¹ *Ibid.* Résultats obtenus à partir des données d'enquête *Budget de famille* 2011, et des facteurs d'intensité carbone estimés à partir de Exiobase v3.41. Les résultats provisoires actualisés à partir de *Budget de famille* 2017 indiquent que l'ampleur de l'hétérogénéité des empreintes entre catégories de ménages a peu évolué.

² Empreinte de la demande intérieure finale (donc y compris investissement) *par ménage*. Avec en moyenne 2,2 personnes par ménage, on retrouve une empreinte de l'ordre de 12 tCO₂eq/personne.

³ Cela signifie que lorsque le revenu d'un ménage augmente de 1 %, son empreinte carbone augmente de 0,54 %.

Graphique 1 – Décomposition de l’empreinte carbone des déciles de niveau de vie par principaux postes de consommation (en tCO₂e)



Lecture : le poste alimentation représente pour les ménages du 3^e décile une empreinte carbone de 4 tCO₂e.

Source : Malliet P. (2020), [La contribution des émissions importées à l'empreinte carbone de la France](#), Sciences Po publications

Encadré 2 – Les difficultés rencontrées par les méthodologies actuelles de calcul de l’empreinte carbone par catégorie de ménages

L’empreinte carbone d’un groupe de ménages mesure la quantité d’émissions de GES nécessaire en amont, le long de la chaîne de production, pour produire les biens et services consommés par ces ménages, ainsi que les GES directement émis par ces ménages pour se chauffer ou se déplacer.

La mesure de la distribution par catégorie de ménages des GES directement émis par les ménages peut se faire de manière satisfaisante avec des enquêtes (cf. section 2 du chapitre 1, *infra*). En revanche celle du reste de l’empreinte carbone présente plus de fragilités, et elle repose sur deux manques dans les données généralement disponibles : les émissions liées à la consommation d’un produit spécifique ne sont généralement pas observées, seules les émissions liées à la consommation d’un bien générique peuvent généralement être calculées ou estimées ; la quantité consommée n’est généralement pas connue, alors que le

montant monétaire dépensé est souvent disponible (André *et al.*, à paraître)¹. Ces problèmes sont bénins lorsque l'on traite de grands agrégats au niveau national, mais ils peuvent devenir aigus lorsque l'on considère de petits échantillons qui s'écartent de la moyenne. Pour répartir l'empreinte carbone entre les sous-groupes, les études supposent souvent que l'empreinte carbone d'un groupe pour une catégorie de produits particulière est proportionnelle aux dépenses de ce groupe dans cette catégorie.

André *et al.* (à paraître) mettent en évidence un faisceau d'indices suggérant que les distributions d'empreinte carbone par niveau de vie sont biaisées par deux effets :

- Un effet prix : un ménage avec un revenu plus élevé achète un bien donné à un prix plus élevé en moyenne. Les auteurs estiment que le prix augmente en moyenne de 0,19 % quand le revenu augmente de 1 %. Ainsi, la part que représentent les ménages avec des revenus élevés est plutôt importante dans le total des dépenses que dans le total des quantités consommées. Au sein d'une catégorie de biens donnée, des prix plus élevés ne signifient pas nécessairement des émissions de GES plus élevées dans les mêmes proportions. Par exemple, la production d'une bouteille de vin à 50 euros n'a pas généré cinq fois plus d'émissions de GES que celle d'une bouteille à 10 euros. Avec cet effet prix, la méthode usuelle a donc tendance à surestimer l'empreinte carbone des plus riches et sous-estimer celle des plus pauvres.
- Un effet d'intensité carbone : au-delà du prix, deux ménages différents peuvent consommer des biens dont la production a requis des émissions différentes de GES (par exemple des tomates locales de plein air *versus* des tomates sous serre et importées). Sur l'exemple particulier des huiles alimentaires, les auteurs parviennent à montrer que cet effet joue dans les mêmes proportions que l'effet prix en termes de surestimation de l'empreinte carbone des ménages aux revenus élevés. Mais ce résultat n'est pas généralisable étant donné les profils de consommation (les ménages aux revenus élevés consomment plus de produits bio, mais achètent également de plus grosses voitures par exemple), faute d'étude plus approfondie et systématique du lien entre le revenu et cet effet d'intensité carbone.

Comme la transition écologique implique de réduire massivement les émissions de gaz à effet de serre, elle touchera tous les ménages qui consomment des produits à fort contenu en carbone, et les effets différenciés *a priori* de cette transition

¹ André M., Bourgeois A., Combet E., Lequien M. et Pottier A. (à paraître), « Measurement challenges to distribute the carbon footprint to households », *Document de travail*, Insee.

peuvent donc se lire sur les distributions d’empreinte selon les revenus ou d’autres caractéristiques.

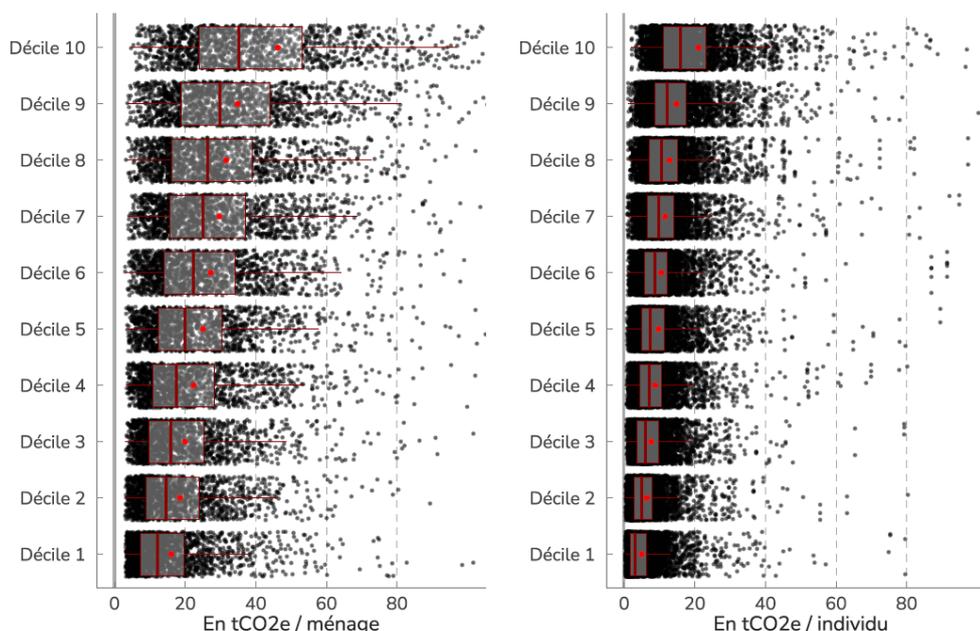
Sous-estimer l’empreinte carbone des ménages à faibles revenus peut conduire à sous-estimer leurs efforts, que ce soit directement avec des augmentations du prix du carbone, ou indirectement avec des réglementations ou d’autres mesures de sobriété ciblant les produits à fort contenu en carbone.

Pour mieux mesurer les empreintes carbone par groupe de ménages, il faudrait disposer de données supplémentaires, à savoir des informations détaillées sur la consommation des ménages (quantités), les ménages eux-mêmes (données socioéconomiques), et sur le carbone contenu dans ces produits consommés, et tout ceci dans la même base de données. Apparier la base carbone (Ademe) avec l’enquête *Budget de famille* (Insee), ou mobiliser des données de caisse ou de carte bancaire sont des pistes possibles.

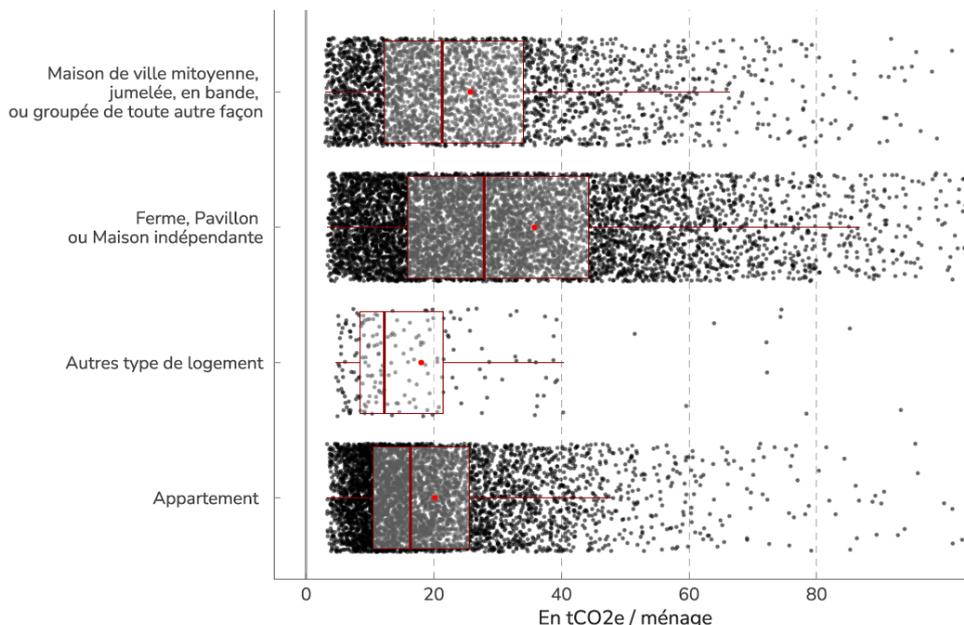
Comme le montre le graphique 2, l’hétérogénéité de l’empreinte carbone reste forte au sein de chaque décile, et d’autres caractéristiques « horizontales », comme le type d’habitat ou la taille de la commune de résidence, sont également une source importante de variation des émissions de gaz à effet de serre entre ménages.

Graphique 2 – Distribution d’empreinte carbone selon le revenu de niveau de vie, le type d’habitat et la taille de la commune de résidence (en tCO₂e)

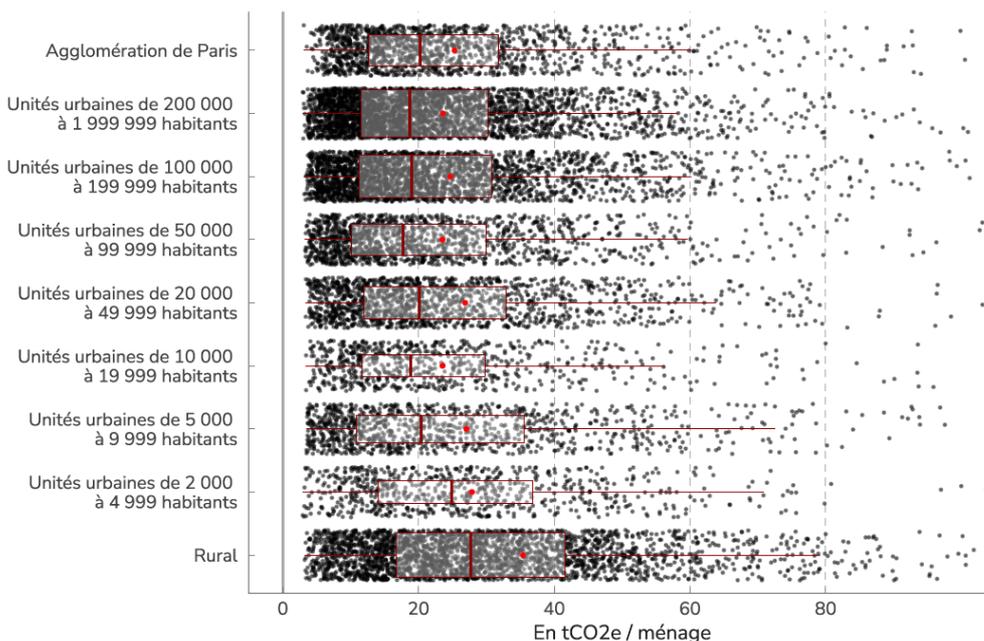
a/ Selon le niveau de vie



b/ Selon le type de logement



c/ Selon la taille de l'unité urbaine



Source : Exiobase v3.41., BdF 2011, calcul des auteurs

Au final, les émissions de GES sont certes inégales entre catégories de ménages mais ces inégalités ne sont pas suffisamment marquées pour limiter l'effort à certaines tranches de la population. Les 20 % des ménages les plus aisés ne représentent « que » 30 % de l'empreinte carbone de la demande intérieure totale, quand la moitié des ménages les moins aisés représente près de 40 % des émissions.

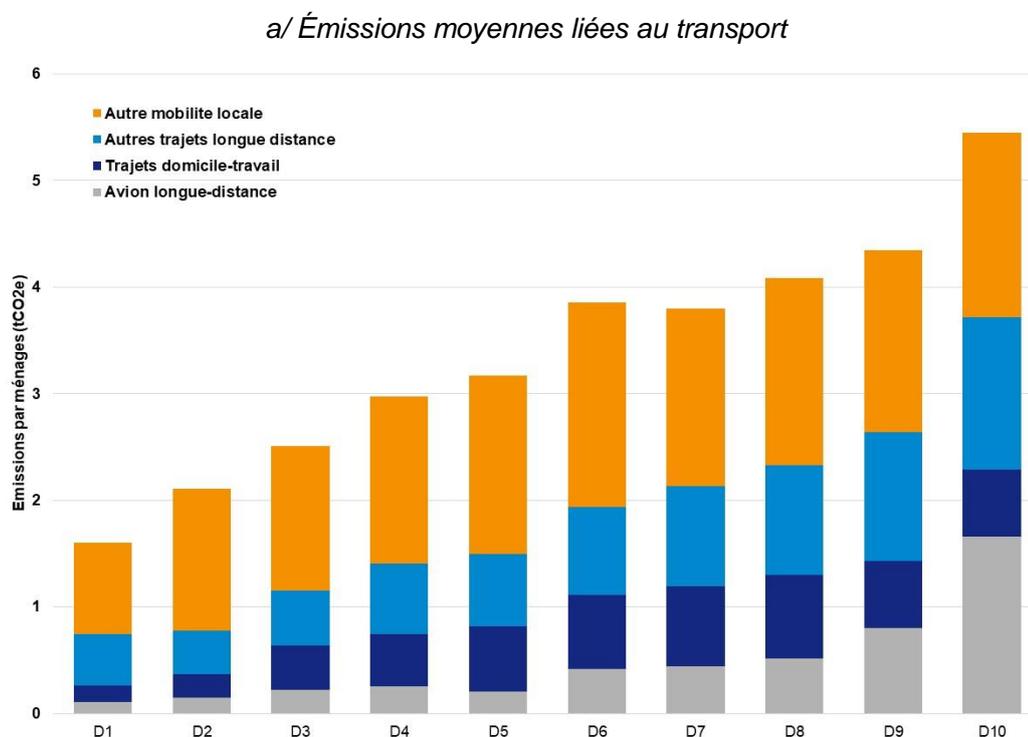
2. Deux postes d'émissions à enjeu : transports et logement

Les émissions de gaz à effet de serre en matière de transport et de logement (consommations directes et consommations liées aux services de) représentent environ 30 % de l'empreinte totale, notamment car ces consommations ont encore un fort contenu carbone (cf. section 1 du chapitre 1, *supra*). Elles sont donc un enjeu prioritaire, pour réduire et décarboner les consommations, et favoriser des alternatives moins carbonées.

Les émissions indirectes liées aux services de transports contribuent à accentuer les écarts entre déciles : ces dernières sont ainsi 5,3 fois plus importantes dans le décile 10 que dans le 1^{er} décile (contre « seulement » 3 pour les émissions directes liées au transport), tirées notamment par un recours plus important au transport aérien.

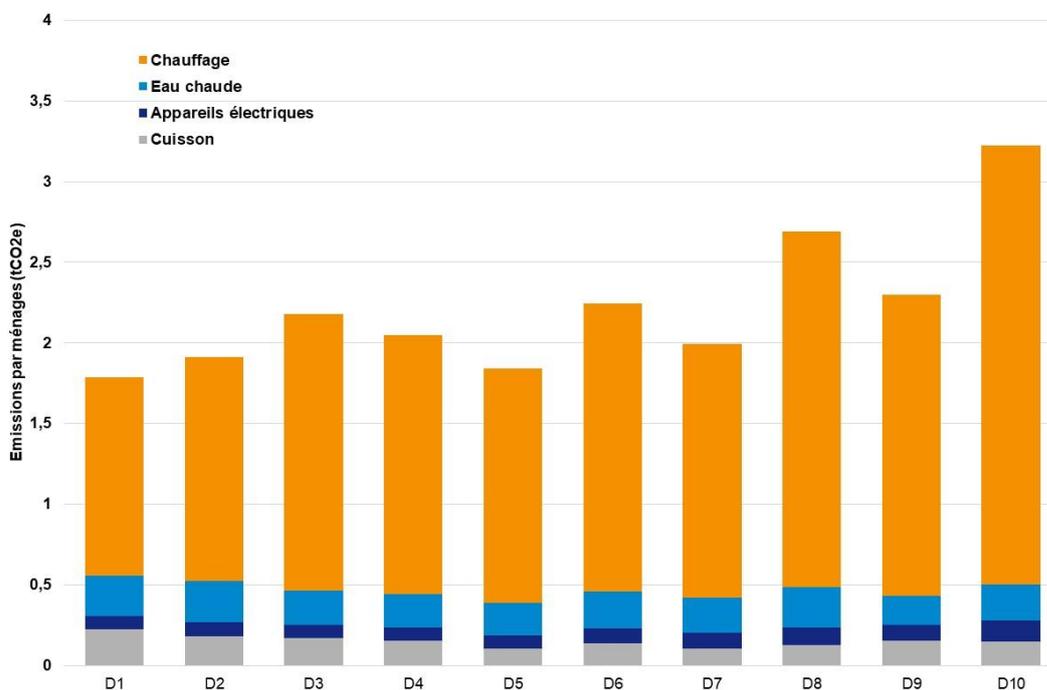
D'après Pottier *et al.* (2020)¹, les émissions moyennes des seuls déplacements en avion des ménages les plus aisés (10^e décile), 1,7 MtCO₂eq par ménage et par an, sont ainsi équivalentes aux émissions de l'ensemble des déplacements des ménages les plus modestes (1^{er} décile), et équivalentes à celles des déplacements domicile-travail des ménages médians (3^e quintile) (Graphique 3a).

Graphique 3 – Distribution des émissions moyennes par décile de niveau de vie



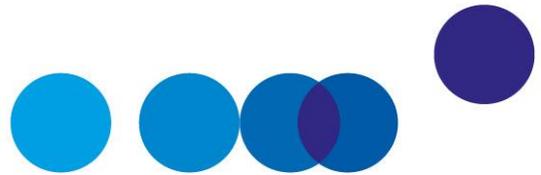
¹ Pottier *et al.* (2020), « Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France », *op. cit.*

b/ Émissions moyennes liées au logement



Source : Pottier et al. (2020), *Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France*

Les émissions liées au logement sont, elles, beaucoup moins corrélées avec le niveau de vie, car le facteur principal de variabilité, avant la taille et le type de logement, est d'abord le système technique de chauffage (électricité, gaz, fioul, réseau de chaleur), au contenu carbone très contrasté en France, qui est lui-même distribué de manière plus équilibrée entre déciles (Graphique 3b).



CHAPITRE 2

LES MÉNAGES FACE AUX POLITIQUES DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Afin d'assurer l'atteinte de nos objectifs de décarbonation, différentes « politiques de transition » peuvent être mises en œuvre. Ces instruments, qui ont pour but de modifier les comportements des agents (ménages ou entreprises), vont avoir des impacts différents sur les niveaux de décarbonation, de bien-être, d'inégalités, de compétitivité, etc. Les politiques de transition énergétique peuvent donc avoir plusieurs formes (voir le rapport thématique *Modélisation* sur les instruments de décarbonation) : fiscalité énergétique et tarification du carbone, mesures réglementaires (réglementations, normes), subventions et investissements publics, information et sensibilisation, etc.

L'effet de ces différents instruments, à la fois en termes macroéconomiques et en termes de décarbonation, dépend bien entendu de la capacité des ménages à modifier leur comportement dans le sens visé. Or cette capacité dépend aussi bien de leurs marges de manœuvre budgétaires que de l'accompagnement de ce changement par les politiques publiques (subventions, compensations, etc.), ou encore des normes sociales qui façonnent les comportements.

1. À court terme, une contrainte plus importante pour les plus modestes... mais pas que

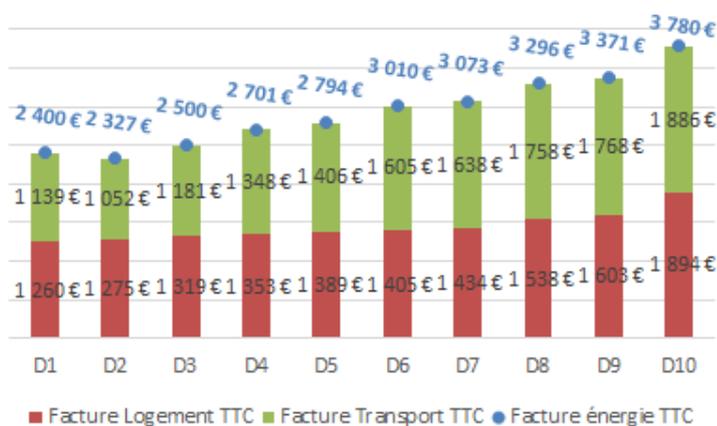
1.1. Les ménages aisés dépensent plus pour l'énergie de leur logement et de transport, mais ces dépenses pèsent davantage dans le budget des plus pauvres

En moyenne, plus un ménage est riche et plus ses dépenses en énergie de transport et de logement sont élevées, en lien avec des consommations en moyenne plus élevées (Graphique 4a). En revanche, le taux d'effort énergétique, défini comme la part de la

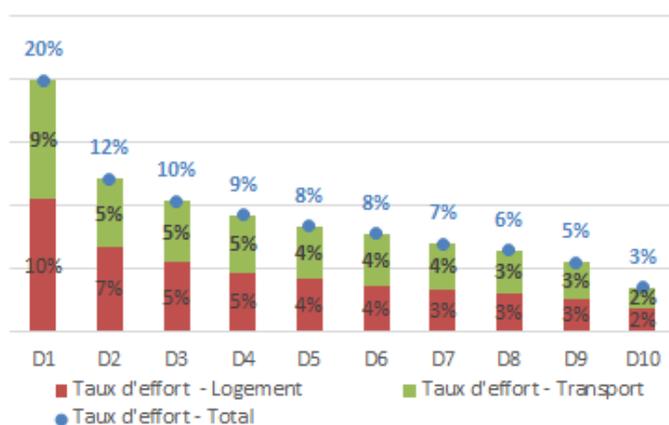
facture énergétique dans le revenu du ménage décroît avec le décile, de sorte que les ménages aux revenus les plus bas sont ceux qui consacrent la part la plus importante de leur revenu à leur consommation d'énergie de transport et de logement (Graphique 4b) et sont donc ceux que cette consommation contraint davantage.

Graphique 4 – Dépenses énergétiques des ménages pour leur logement et les transports, en 2019

a/ Facture énergétique annuelle moyenne par décile de revenu par UC



b/ Taux d'effort énergétique moyen par décile de revenu par UC



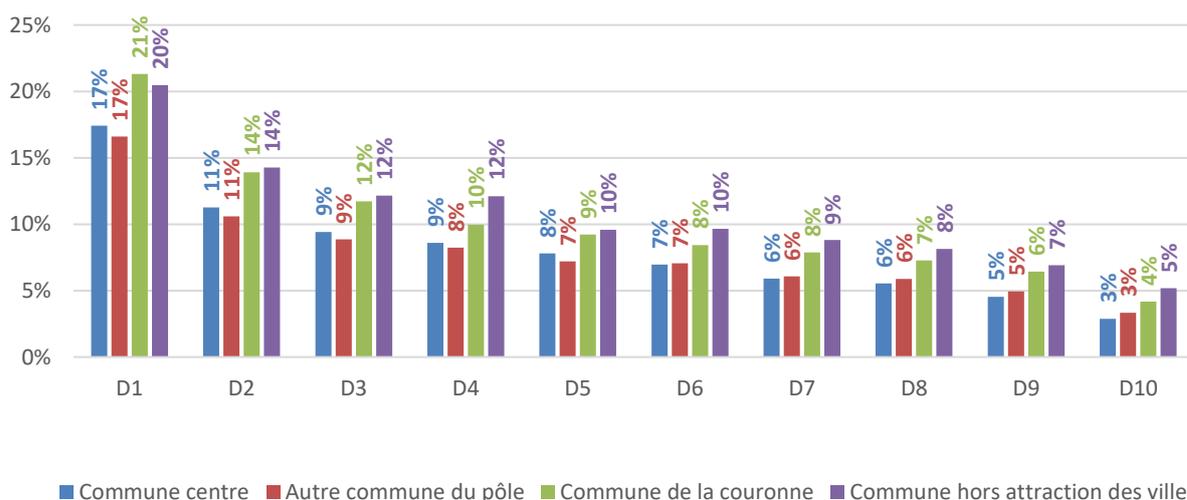
Source : CGDD, modèle Prometheus sur la base de l'enquête nationale Logement 2013 (Insee) et de l'enquête nationale Transports et déplacements 2008 (SDES) ; crédits : CGDD.

1.2. Des niveaux d'exposition des ménages également hétérogènes à niveau de revenu donné

Au-delà de l'hétérogénéité en termes de revenu, à décile de revenu donné, certains ménages sont plus exposés à une hausse des prix de l'énergie que d'autres, en fonction de leur situation géographique, de leur âge ou de l'énergie principale de chauffage dont ils sont dotés.

Ainsi, les ménages qui résident dans les communes des couronnes ou dans les communes hors aire d'attraction des villes consacrent, à décile de revenu égal et pour tous les déciles de revenu, une part plus importante de leur revenu aux énergies de logement et de transport¹. En d'autres termes, les ménages qui vivent dans des zones moins denses où moins d'emplois se concentrent sont davantage contraints par leurs dépenses courantes en matière d'énergie pour le transport et le logement.

Graphique 5 – Taux d'effort énergétique moyen par décile de revenu par UC et selon le zonage en catégorie d'aire d'attraction des villes



Source : CGDD, modèle Prometheus sur la base de l'enquête nationale Logement 2013 (Insee) et de l'enquête nationale Transports et déplacements 2008 (SDES)

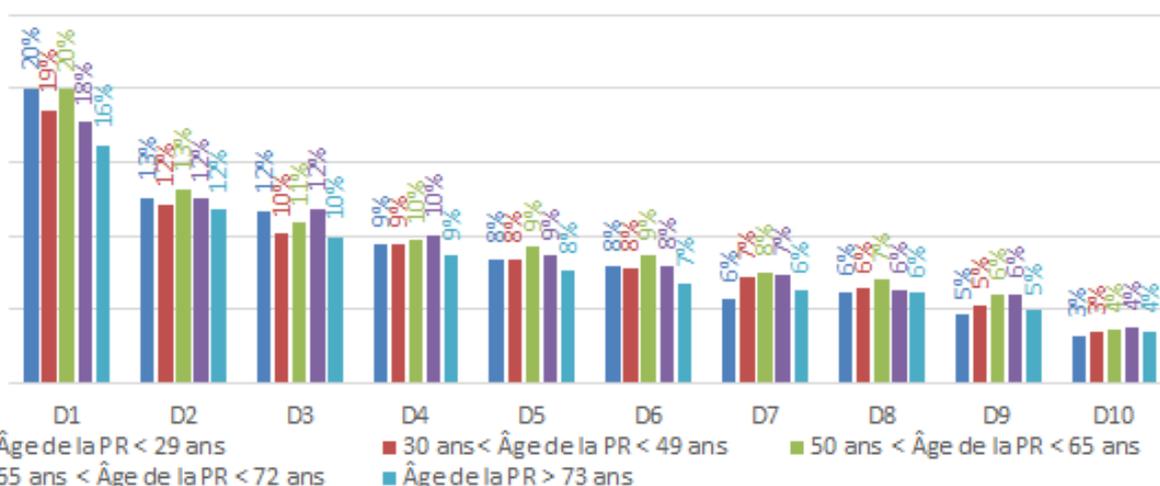
De la même manière, les ménages les plus âgés à décile de revenu égal, et pour tous les déciles, consacrent une part moins importante de leur revenu à leurs énergies de logement et de transport. Dans le détail, cette différence s'explique notamment par de moindres

¹ L'aire d'attraction d'une ville est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, qui définit l'étendue de l'influence d'un pôle de population et d'emploi sur les communes environnantes, cette influence étant mesurée par l'intensité des déplacements domicile-travail. Les communes qui envoient au moins 15 % de leurs actifs travailler dans le pôle constituent la couronne de l'aire. On distingue ici, au sein des pôles, la commune-centre qui est la commune la plus peuplée du pôle. Voir la définition de la [Base des aires d'attraction des villes 2020](#), sur le site de l'Insee.

dépenses en matière de transport. Les ménages plus jeunes sont donc plus exposés à des hausses de prix sur les énergies, notamment de transport.

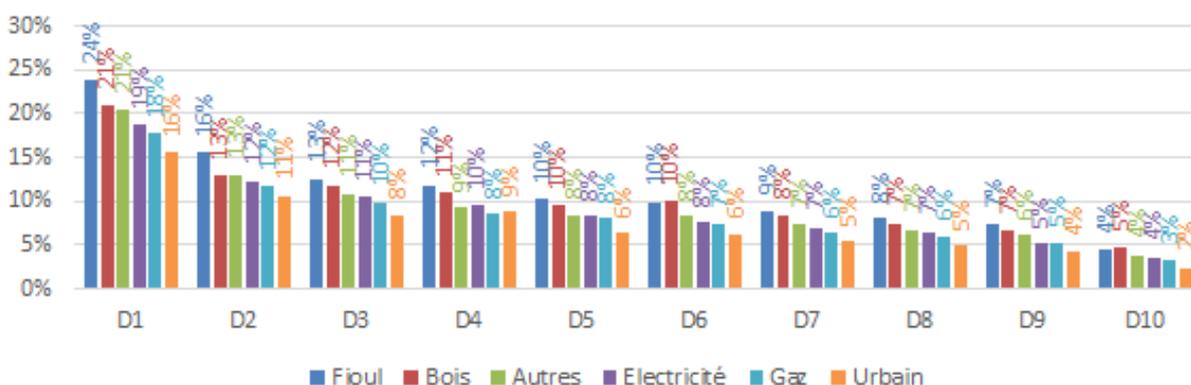
Enfin, les ménages qui se chauffent au fioul et au bois, à décile de revenu égal, et pour tous les déciles, consacrent une part plus importante de leur revenu à leurs énergies de transport et de logement, tandis que ceux qui bénéficient d'un réseau de chaleur urbain leur consacrent une part moins importante.

Graphique 6 – Taux d'effort énergétique moyen par décile de revenu par UC et selon la tranche d'âge de la personne de référence du ménage



Source : CGDD, modèle Prometheus sur la base de l'enquête nationale Logement 2013 (Insee) et de l'enquête nationale Transports et déplacements 2008 (SDES) ; Crédits : CGDD

Graphique 7 – Taux d'effort énergétique moyen par décile de revenu par UC et selon leur énergie principale de chauffage



Source : CGDD, modèle Prometheus sur la base de l'enquête nationale Logement 2013 (Insee) et de l'enquête nationale Transports et déplacements 2008 (SDES) ; Crédits : CGDD

À très court terme, à consommation donnée, cet état de fait signifie qu'une hausse des prix des énergies de logement et de transport va peser davantage, en proportion de leur budget, sur les ménages les plus modestes, ainsi que sur les ménages intermédiaires très dépendants de la voiture étant donné leur lieu d'habitation, et nettement moins sur les ménages les plus aisés (cf. section 1 du chapitre 3, *infra*).

Pour passer de la photo *ex ante* des impacts potentiels aux effets observés *ex post*, il faut tenir compte des réactions de ces mêmes ménages et de leurs marges de manœuvre.

Les travaux sur l'élasticité-prix des consommations d'énergie en matière de transports et de logement concluent généralement à une plus grande réactivité aux prix des ménages pauvres¹, traduisant des comportements de restriction sous contrainte budgétaire, ainsi que pour les ménages des zones rurales ou des petites villes. L'élasticité-prix en matière de transports est aussi plus importante que pour le logement (-0,2 contre -0,45 à court terme). Ainsi, les dépenses en énergie et en carburant, dont les prix augmentent particulièrement entre 2021 et l'été 2022, baissent en volume, notamment pour les ménages dotés des revenus les plus faibles et d'une consommation élevée de carburants et d'énergie.

La contrainte budgétaire s'exerce par définition plus fortement pour les ménages les plus modestes, et le reste à dépenser est particulièrement faible pour certaines catégories de ménages : le panier alimentation/transport/logement (ATL) représente² ainsi 77 % du revenu disponible des ménages du 1^{er} décile, mais moins de 20 % du revenu disponible des ménages du 10^e décile (Graphique 8a). De même, au fur et à mesure qu'on s'écarte du centre de la zone d'emploi, la part attribuée à ce panier est beaucoup plus importante (Graphique 8b), ce qui s'explique facilement notamment par l'importance croissante des dépenses liées à l'automobile (carburant, assurance, entretien, achat d'automobile) au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre.

En matière alimentaire, en 2016, 30 % des ménages au revenu inférieur à 1 000 euros mensuels déclaraient ne jamais acheter de produits alimentaires issus de l'agriculture biologique, contre 16 % des ménages ayant un revenu supérieur à 4 500 euros ; les ménages pauvres déclaraient à 82 % que le prix était trop élevé et donc limitait leur achat, voire le rendait impossible³.

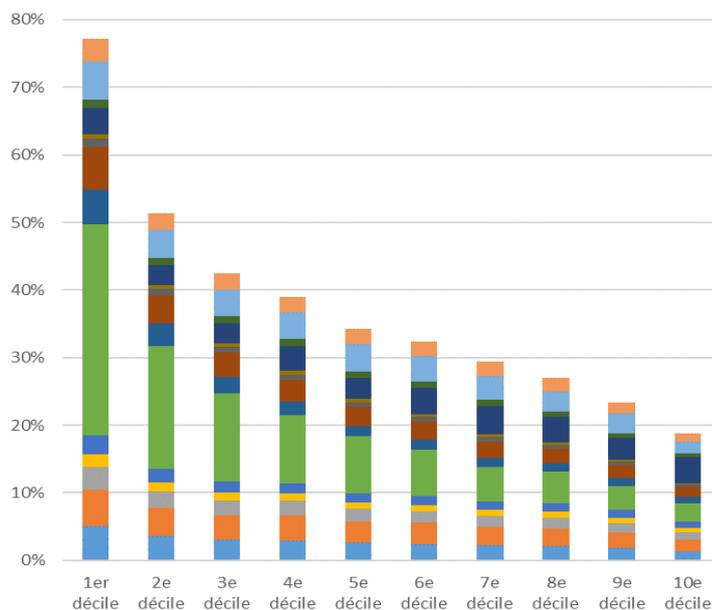
¹ Voir par exemple Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41(3), juillet.

² Cusset P.-Y., Prada-Aranguren A.-G. et Trannoy A. (2021), « [Les dépenses pré-engagées : près d'un tiers des dépenses des ménages en 2017](#) », *La Note d'analyse*, n° 102, France Stratégie, août ; Le Hir B. et Bono P.-H. (2023), « [Dépenses de logement et de transport : quels arbitrages ?](#) », *La Note d'analyse*, n° 117, France Stratégie, février ; Cusset P.-Y. et Trannoy A. (2023), « [Restes à dépenser et territoires](#) », *La Note d'analyse*, n° 118, France Stratégie, février.

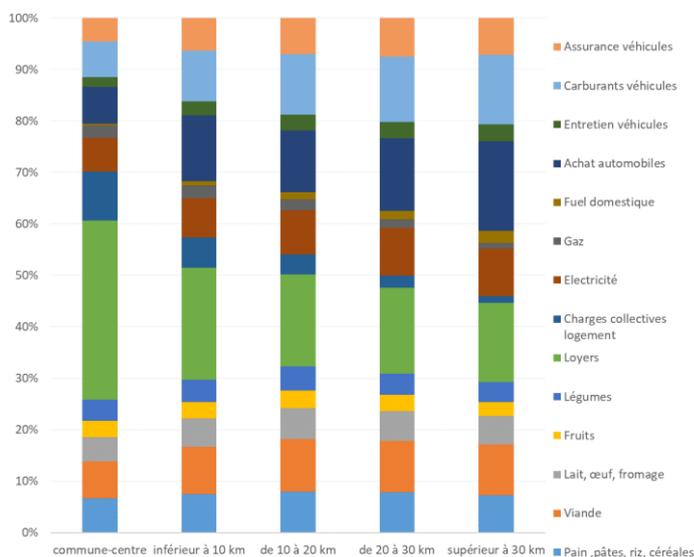
³ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, [Enquête sur les pratiques environnementales des ménages 2016](#), CGDD/SDES.

Graphique 8 – Poids dans le revenu disponible des principaux postes du panier Alimentation + Logement + Transport

a/ Par déciles de revenu disponible (à gauche)



b/ Par structure du panier par distance au centre de la zone d'emploi



Lecture : les 10 % des ménages les plus riches (10^e décile) consacrent 19 % de leurs revenus à l'ensemble des postes listés dans la légende quand ceux du 1^{er} décile y consacrent 77 %.

Source : Cusset P.-Y. (2023), « *Alimentation, logement, transport : sur qui l'inflation pèse-t-elle le plus ?* », La Note d'analyse, n° 119, France Stratégie, février ; d'après l'enquête Budget de famille 2017

2. Une adaptation conditionnée par la capacité d'investissement

Au-delà du poids direct de la contrainte carbone lié à la hausse du coût de l'énergie, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des consommations énergétiques va nécessiter un surcroît d'investissement de la part des ménages, en particulier dans leur logement et leur équipement automobile que tous ne pourront pas nécessairement assumer. En matière de logement, remplacer les chaudières au fioul et au gaz par des pompes à chaleur ou améliorer la performance énergétique des bâtiments par l'isolation du bâti implique des montants d'investissement potentiellement très élevés. En matière de transport, la nécessité pour les ménages sans alternatives de remplacer leurs véhicules polluants par des véhicules respectant les contraintes d'émissions qui leur seront imposées représente aussi des coûts considérables.

2.1. Les ménages ne sont pas tous contraints de la même façon par leurs investissements passés

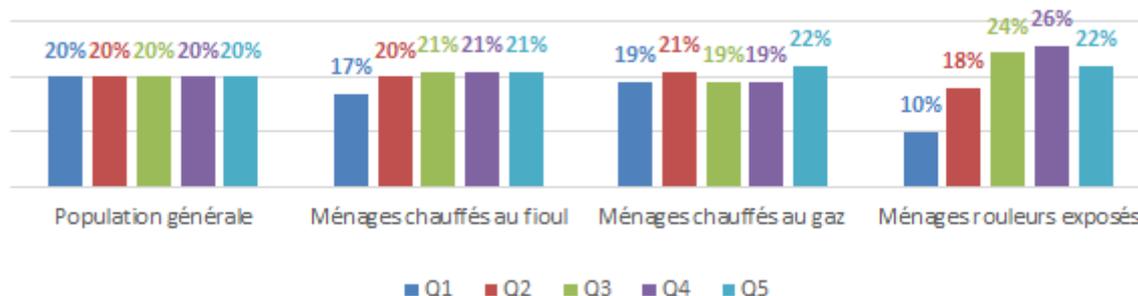
Les consommations d'énergie sont en effet soumises à des phénomènes de *lock-in* ou de dépendance aux investissements passés. En particulier, le lieu de vie dans lequel un ménage s'est investi le contraint très fortement dans les modes de transports dont il dispose ou son mode de chauffage. Les actifs vulnérables à la transition bas-carbone ne sont pas répartis de façon homogène au sein de la population. En matière de logement et de transport, les détenteurs des actifs visés ont souvent des caractéristiques (de revenus ou sociodémographiques) qui les distinguent de la population générale.

Les graphiques ci-dessous décrivent la répartition des ménages qui se chauffent au fioul (un peu plus de 10 % des ménages) ou au gaz (environ 40 % des ménages) et de ceux qui parcourent plus de 25 000 km par an et possèdent au moins un véhicule dont la vignette Crit'Air est égale à 3, 4 ou 5 (ou non classé), ménages que l'on désignera dans la suite comme « ménages rouleurs exposés » (11,2 % des ménages).

Ainsi, les ménages médians, aisés et les plus aisés (trois derniers quintiles) sont surreprésentés au sein des ménages rouleurs les plus exposés (72 % parmi 60 % de la population), et les ménages modestes sont légèrement sous-représentés (17 % contre 20 %) parmi les ménages chauffés au fioul. En revanche, la composition par niveau de revenu des ménages qui se chauffent au gaz est très proche de celle de l'ensemble de la population (Graphique 9).

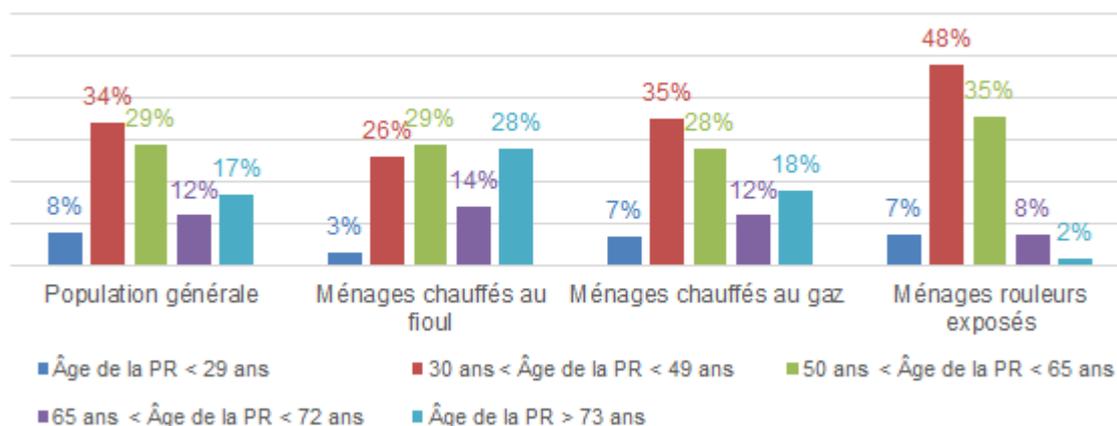
Parmi les ménages qui se chauffent au fioul, on trouve une très forte proportion de personnes âgées (28 % ont 73 ans ou plus contre 17 % dans l'ensemble de la population), mais cette catégorie est logiquement très peu représentée parmi la population des rouleurs très exposés, qui est majoritairement composée d'actifs entre 30 et 50 ans (Graphique 10).

Graphique 9 – Répartition des ménages par quintile de revenu par UC



Source : enquête nationale Logement 2013 (Insee vieillie par le CGDD) et enquête Mobilité des personnes 2019 (SDES), France métropolitaine, ensemble des ménages ; Crédits : CGDD

Graphique 10 – Proportion de ménages en fonction de la tranche d'âge de la personne de référence

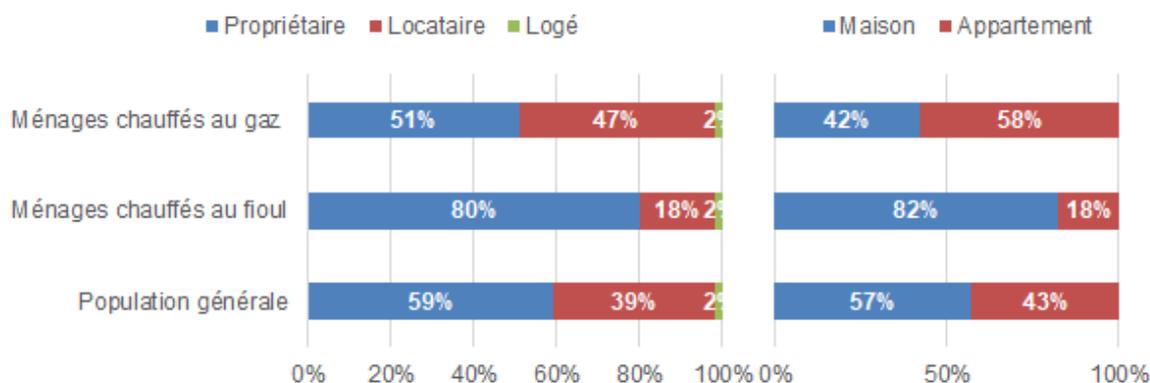


Note : la répartition de la population par tranche d'âge dans la population générale issue du modèle Prometheus s'appuie sur les données de l'ENL 2013. Elle est donnée à titre de repère mais n'est pas calée sur la répartition issue du recensement de population.

Source : enquête nationale Logement 2013 (Insee vieillie par le modèle Prometheus du CGDD) et enquête Mobilité des personnes 2019 (SDES), France métropolitaine, ensemble des ménages ; crédits : CGDD

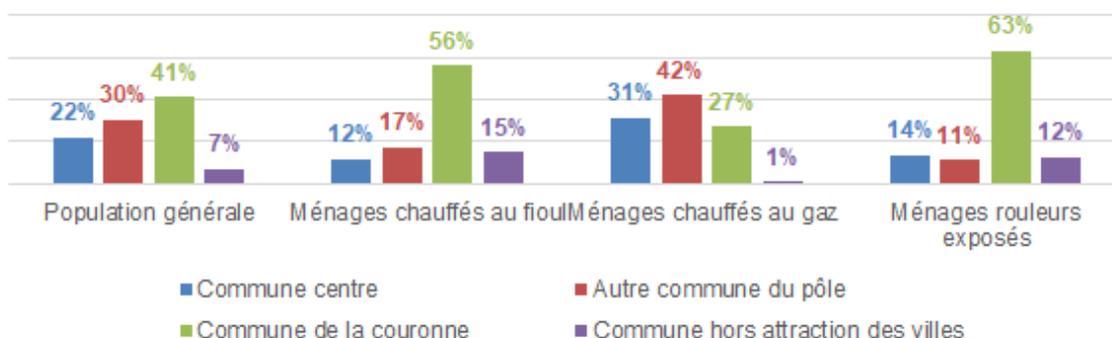
Enfin, les ménages chauffés au fioul sont nettement plus nombreux que la moyenne à vivre en maison (82 %, contre 57 %, Graphique 11), à être propriétaires de leur logement (80 % contre 59 %), et à vivre à l'extérieur des pôles urbains ; les ménages dits rouleurs exposés (qui parcourent plus de 25 000 km par an et possèdent au moins un véhicule dont la vignette Crit'Air vaut trois ou plus) habitent également très majoritairement (63 %) en couronne des pôles d'attraction urbaine (Graphique 12). Les ménages chauffés au gaz sont en revanche relativement plus nombreux à vivre en appartement, à être locataire de leur logement et à vivre au sein des pôles urbains.

Graphique 11 – Répartition des ménages en fonction du statut d'occupation (à gauche) et du type de logement (à droite)



Source : enquête nationale Logement 2013 (Insee vieillie par le CGDD) avec et enquête Mobilité des personnes 2019 (SDES), France métropolitaine, ensemble des ménages ; crédits : CGDD

Graphique 12 – Proportion de ménages en fonction de leur catégorie de commune de résidence



Source : enquête nationale Logement 2013 (Insee vieillie par le CGDD) avec et enquête Mobilité des personnes 2019 (SDES), France métropolitaine, ensemble des ménages ; crédits : CGDD

2.2. Les capacités et les incitations à investir des ménages concernés diffèrent selon le type d'investissement

L'ampleur des coûts d'investissement initiaux à réaliser peut s'avérer incompatible avec les contraintes de budget des ménages les moins aisés. Acheter une voiture à faible émission peut encore difficilement se faire sur le marché de l'occasion et implique une dépense importante que tous les ménages ne peuvent se permettre. Isoler sa maison ou installer une pompe à chaleur pour réduire l'intensité carbone de son chauffage représente aussi des sommes considérables même si celles-ci peuvent être compensées à terme par des économies d'énergie. Il est en ce sens utile d'établir le profil de la population concernée par les différents types d'investissement que la transition implique.

Rénovation des logements : occupants et propriétaires non occupants, deux enjeux différents

En matière de logement, l'enjeu diffère selon que le logement est détenu par un propriétaire occupant ou un propriétaire non-occupant.

En France, la majorité des ménages (58 %) est propriétaire de sa résidence principale¹. Néanmoins, la proportion de ménages propriétaires n'est que de 37 % dans les trois premiers déciles, contre 79 % dans les trois derniers². Parmi les propriétaires occupants, les ménages modestes sont donc sous-représentés, les deux premiers déciles représentant 10 % des propriétaires de leur résidence principale. Les caractéristiques des logements sont similaires entre catégories de ménages et on dénombre environ un million de ménages modestes propriétaires occupants de logements chauffés au fioul ou au gaz ou de logements F ou G (soit donc 10 % des propriétaires occupants de ces catégories de logement). Ces ménages nécessiteront une attention particulière mais les montants nécessaires pour certaines rénovations énergétiques appelleront aussi des soutiens de financement pour les ménages propriétaires plus aisés. Des scénarios illustratifs d'accompagnement et des besoins de financement liés sont exposés dans l'Encadré 3.

Du côté des propriétaires non occupants, les profils socioéconomiques sont très marqués et appartiennent très majoritairement aux déciles de revenus élevés : 80 % de ces ménages peuvent être considérés comme des ménages médians (22 %), plutôt aisés (33 %), ou aisés (25 %)³. En outre, 50 % des logements en location possédés par des particuliers sont détenus en réalité par seulement 3,5 % des ménages propriétaires (qui sont propriétaires d'au moins cinq logements). Si la capacité d'investissement des propriétaires non occupants est supérieure à la moyenne, leur incitation à rénover peut s'avérer faible en revanche. Contrairement aux propriétaires occupants, les propriétaires non-occupants supportent la responsabilité⁴ et le coût de l'investissement sans bénéficier des économies que ces investissements permettent de réaliser. Seule une éventuelle dépréciation des biens immobiliers énergivores et émetteurs de CO₂ suite à la mise en place de politiques climatiques constituerait une incitation. Les premières études de fédérations professionnelles suite à l'interdiction annoncée de la mise à la location des logements G (en 2025), puis F (en 2028) avancent des décotes encore assez faibles, de l'ordre de 4 % seulement en moyenne pour ces biens F et G (par rapport à un bien

¹ Cazenave-Lacrouts M.-C., Cheloukdo P. et Hubert O. (2022), « [La composition du patrimoine des ménages évolue peu à la suite de crises sanitaire](#) », *Insee Première*, n° 1899, mai, sur la base de l'enquête *Patrimoine*.

² *Enquête nationale « Logement »* (2013), Insee, vieillie avec Prometheus CGDD.

³ Calculs provenant de André M., Arnold C. et Meslin O. (2021), « 24 % des ménages détiennent 68 % des logements possédés par des particuliers », in *France. Portrait social*, coll. « Insee Références », p. 91-104.

⁴ La loi climat et résilience (cf. décret 2022-1026 du 20 juillet 2022) ouvre toutefois désormais la possibilité aux locataires de réaliser à leurs frais les travaux de rénovation, avec procédure d'accord tacite du propriétaire.

« équivalent » mieux classé)¹ ; mais notent l'afflux de ces biens sur le marché (au 4^e trimestre 2022, ces logements représentaient 19 % des biens mis en vente, contre 11 % en 2020).

Tableau 1 – Effectifs des ménages propriétaires occupants par type de logement et par énergie principale de chauffage (en millions)

	Fioul	Autres	Gaz	Total
Ménages propriétaires occupants	2,9	7,9	6,4	17,2
Passoires (G, F)	1,4	1,0	0,9	3,3
Non-passoires	1,5	6,9	5,5	13,9

Source : ONRE (2022), le parc de logements par classe de performance énergétique au 1^{er} janvier 2022, à partir de Fideli 2020 et base DPE Ademe. Calculs SDES et SEVS

Tableau 2 – Effectifs des ménages modestes propriétaires occupants (1^{er} quintile) par type de logement et par énergie principale de chauffage (en millions)

	Fioul	Autres	Gaz	Total
Ménages modestes propriétaires (Q1)	0,30	0,75	0,60	1,64
Passoires (G, F)	0,14	0,14	0,09	0,37
Non-passoires	0,15	0,62	0,51	1,27

Source : ONRE (2022), le parc de logements par classe de performance énergétique au 1^{er} janvier 2022, à partir de Fideli 2020 et base DPE Ademe. Calculs SDES et SEVS

Encadré 3 – Coût d'une subvention du changement de vecteur énergétique²

À titre illustratif, nous évaluons le coût d'un changement de vecteur énergétique (gaz ou fioul) vers une pompe à chaleur à 15 000 euros (pompe à chaleur de type air-eau).

Le coût total à financer pour les changements de vecteur énergétique de tous les ménages qui possèdent une chaudière au fioul ou au gaz, quel que soit le financeur, reviendrait à 204 milliards d'euros dont 45 milliards d'euros pour les

¹ Cette décoté est moindre à Paris (-1 %), mais peut atteindre -5,6 % en zone rurale (étude SeLoger, février 2023).

² Les chiffreages ont été réalisés en utilisant les données issues du modèle Prometheus qui apparie les bases de données de l'enquête nationale *Logement* 2013 et de l'enquête nationale *Transports et déplacements* 2008.

ménages qui se chauffent au fioul et 159 milliards d'euros pour ceux qui se chauffent au gaz. Ce coût total (en stock), et les autres coûts présentés infra, reste à répartir en flux annuel en fonction de la trajectoire temporelle des transitions.

Le coût total pour les ménages propriétaires des trois premiers déciles revient à 20 milliards d'euros dont 8 milliards d'euros pour le fioul et 12 milliards d'euros pour le gaz, et le coût total pour les propriétaires d'un logement occupé par un ménage appartenant aux trois premiers déciles de revenu est de 40 milliards d'euros dont 4 milliards d'euros pour les chaudières au fioul et 36 milliards d'euros pour les chaudières au gaz.

Une aide directe aux changements de vecteur énergétique doit permettre de financer la réalisation d'un investissement qui ne pourrait pas être entrepris sans elle. L'efficacité d'une telle aide est dépendante de son ciblage (cf. section 3 du chapitre 3, *infra*). Dans cette perspective, à titre illustratif, on considère qu'un ménage qui ne peut financer l'investissement envisagé en quatre ans en lui consacrant l'intégralité de son épargne a vocation à être aidé.

On évalue donc l'aide suivante apportée aux ménages propriétaires occupants :

- Les ménages propriétaires occupants en précarité énergétique (qui consacrent plus de 8 % de leur revenu au chauffage de leur logement et qui appartiennent aux trois premiers déciles) voient leur installation financée à 100 %.
- Les autres ménages du premier quintile voient également leur installation financée à hauteur de 100 %. En effet, leur taux d'épargne moyen en 2017 est de 2,7 % et leur revenu disponible brut de 19 916 euros¹, de fait même en subventionnant la mise en place d'une pompe à chaleur à hauteur de 80 % pour ces ménages, en moyenne, il leur faudrait consacrer toute leur épargne pendant sept ans au financement des 20 % restants.
- Les ménages propriétaires occupants du deuxième quintile voient leur installation financée à 60 %. Ce qui, en moyenne, rend possible le financement de la part restante sur quatre ans en lui consacrant l'intégralité de l'épargne, puisque les ménages du deuxième quintile ont un taux d'épargne moyen de 4,99 % et un revenu disponible brut de 30 585 euros par an².
- Le coût d'une telle mesure revient à 24,1 milliards d'euros dont 9,7 milliards d'euros pour les chaudières au fioul et 14,4 milliards d'euros pour les chaudières à gaz. De plus, sur ces 24,1 milliards d'euros, 11,1 milliards d'euros seraient consacrés aux propriétaires occupants précaires, 11,1 milliards

¹ Accardo J. et Billot S. (2020), « Plus d'épargne chez les plus aisés, plus de dépenses contraintes chez les plus modestes », *Insee Première*, n° 1815, septembre, comptes nationaux, base 2014 ; Insee-DGFIP-Cnaf-Cnav-CCMSA, enquêtes *Revenus fiscaux et sociaux* (2011 et 2017) ; Insee, enquêtes *Budget de famille* (2011 et 2017), comptes nationaux, base 2014 ; Insee-DGFIP-Cnaf-Cnav-CCMSA, enquête *Revenus fiscaux et sociaux* (2017).

² *Ibid.*

d'euros seraient consacrés aux ménages du Q1 et 13,0 milliards d'euros aux ménages du Q2, et le subventionnement à 60 % des ménages non précaires du Q2 représenterait 9,6 milliards d'euros.

- En imaginant que les ménages locataires vivant en logement individuel puissent réaliser l'investissement en bénéficiant de la même aide, le coût du financement à 100 % de la pompe à chaleur des ménages précaires ou appartenant au premier décile reviendrait à 5,6 milliards d'euros dont 1,1 milliard d'euros pour les chaudières au fioul et 4,5 milliards d'euros pour les chaudières à gaz. Le coût du subventionnement à 60 % de la pompe à chaleur des ménages du deuxième quintile qui ne sont pas précaires reviendrait à 2,4 milliards d'euros dont 2,2 milliards d'euros pour le remplacement des chaudières au gaz.

Renouvellement du parc des véhicules : l'enjeu pour les ménages modestes

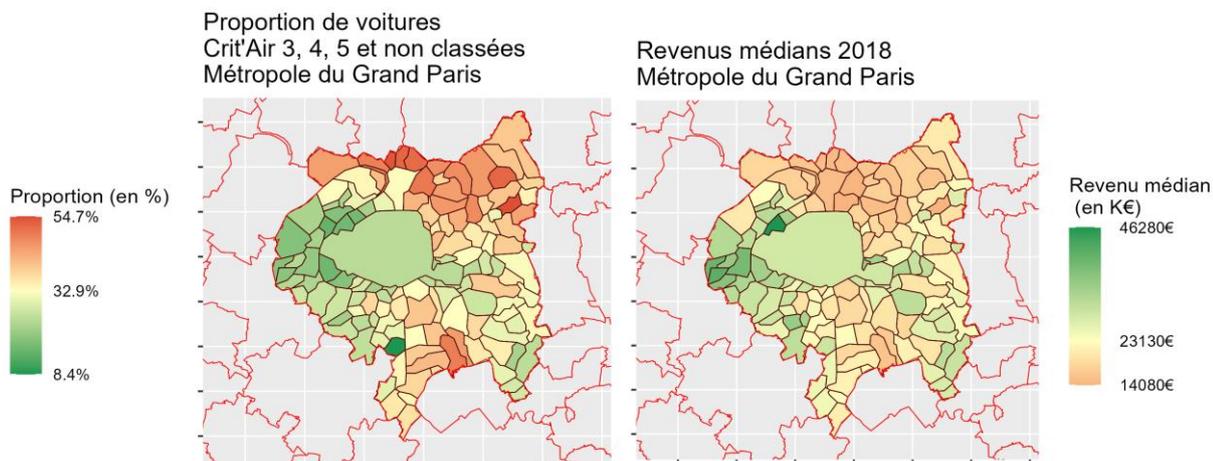
Concernant la mobilité, les politiques de restriction ou d'exclusion de circulation prévues dans le cadre du déploiement des zones à faible émission (ZFE) vont quant à elles fortement impacter les ménages les plus modestes.

Sur l'ensemble du périmètre des communes concernées par les ZFE au niveau national (communes des EPCI de plus de 150 000 habitants), les véhicules Crit'Air 3, 4 et 5 (et non classé) sont davantage détenus par des ménages disposant d'un faible niveau de revenu. Ce résultat se visualise également sur les périmètres des zones à faibles émissions de Paris, Lyon et Marseille, comme en témoignent les cartes ci-dessous (Carte 1).

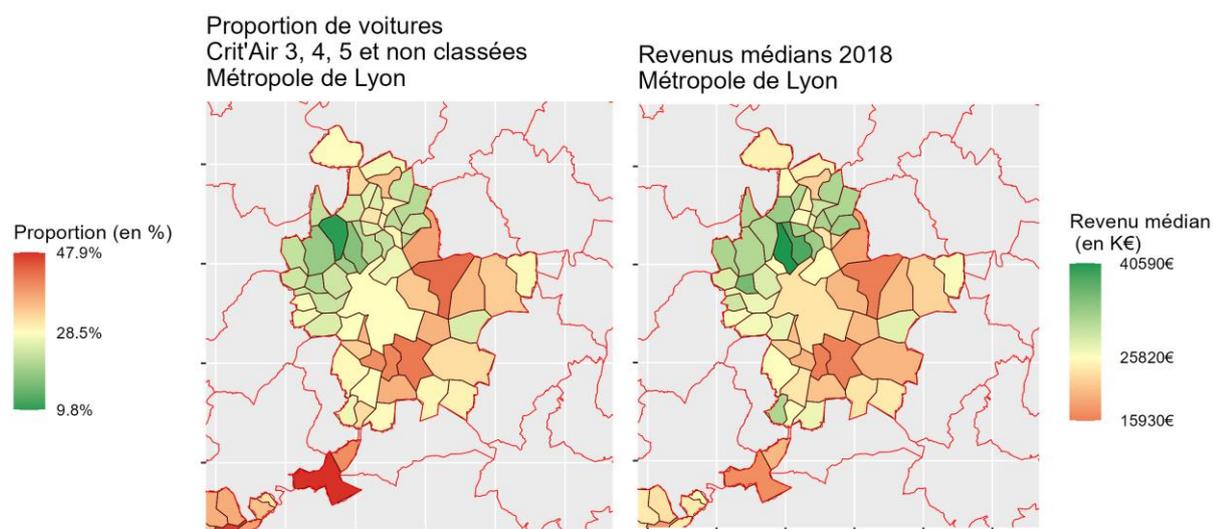
Pour le renouvellement du parc de véhicules et la transition vers le véhicule électrique, un accompagnement financier des ménages modestes paraît indispensable.

Carte 1 – Proportion de voitures Crit'Air 3, 4 et 5 (et non classées) (à gauche) et revenus médians (2018)

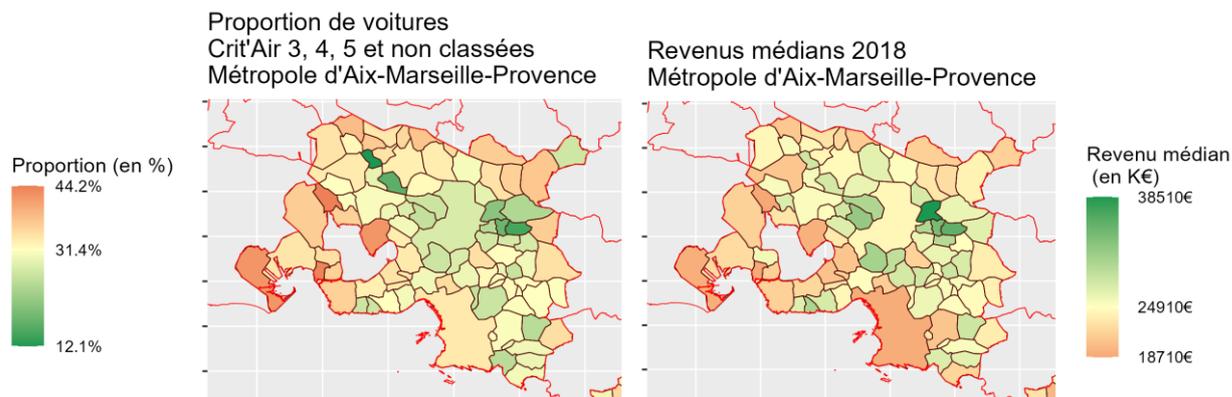
a/ Paris



b/ Lyon



c/ Marseille



Note : Coefficient de corrélation¹ entre le revenu médian par commune et la proportion des véhicules Crit'Air 3 ou plus par commune sur la métropole Grand Paris : -0,87 ; sur la métropole du Grand Lyon : -0,84 ; sur la métropole d'Aix-Marseille : -0,76 ; sur l'ensemble des communes concernées par les ZFE au niveau national (communes des EPCI de plus de 150 000 habitants) : -0,68.

Source : données SDES pour les ZFE, Insee pour les revenus (Filosofi). Calculs et cartes des auteurs

En effet, le prix des voitures électriques neuves reste encore élevé : pour un ménage médian, le surcoût à l'achat d'un véhicule électrique neuf du segment B (« citadine ») par rapport au véhicule thermique moyen de ce même segment est de 16 000 euros. Les dispositifs d'aides en place (bonus écologique, prime à la conversion, aide à l'installation d'une borne de recharge) permettent de ramener ce surcoût à 7 200 euros². Pour les ménages modestes, malgré la majoration des aides dont ils peuvent bénéficier (prime à la conversion, bonus, voir Encadré 4), le surcoût à l'achat pour ce type de véhicule peut atteindre à 8 000 euros avec aides³. Ce surcoût est dissuasif quand on sait que le prix moyen à l'achat d'un véhicule (tout segment) par ces ménages était de 11 500 euros en 2018⁴. La prise en charge de ce surcoût pour les ménages du premier quintile qui possèdent une voiture (soit 60 %) représenterait un budget de 27,5 milliards d'euros pour l'ensemble du stock de véhicules concernés (Figure 1).

¹ Ce coefficient mesure le lien, au niveau communal, entre le revenu médian et la proportion de véhicules détenus par les particuliers qui sont Crit'Air 3, 4, 5. Il est compris (en valeur absolue) entre 0 et 1 (plus il est proche de 1, plus ce lien est important).

² Robinet A. et Gérardin M. (2022), « [La voiture électrique : à quel coût ?](#) », *La Note d'analyse*, n° 115, France Stratégie, novembre. Calculs effectués avec les barèmes en vigueur en 2022 (bonus écologique plafonné à 6 000 euros, abaissé à 5 000 euros en 2023).

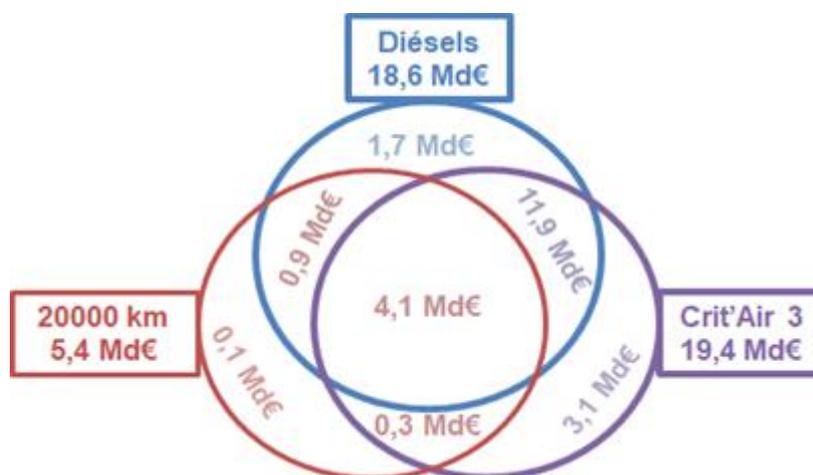
³ Le surcoût résiduel pour les ménages modestes est supérieur au surcoût pour l'ensemble des ménages malgré la majoration des primes en raison d'un surcoût initial supérieur. Calcul réalisé en 2022, avant l'entrée en vigueur de la majoration du bonus de 2 000 euros sous condition de ressources.

⁴ Jolly M. (2020), « [Les voitures des ménages modestes. Moins nombreuses mais plus anciennes](#) », *Théma Essentiel – Transport*, CGDD, décembre.

Le remplacement par des véhicules électriques neufs d'entrée de gamme (segment A) pourrait constituer un point d'entrée pertinent pour la transition vers l'électrique des ménages modestes en réduisant significativement le surcoût monétaire mais impliquant une perte de bien-être ou des changements de préférences.

Reste également le marché de l'occasion, vers lequel les ménages modestes se tournent structurellement bien davantage : en 2018, 73 % des véhicules achetés par les ménages du 1^{er} quintile de revenus étaient d'occasion, contre 49 % pour les 20 % des ménages les plus aisés¹. Les dispositifs de soutien en vigueur (prime à la conversion et désormais bonus de 1 000 euros pour l'occasion électrique) compensent le surcoût à l'achat : de fait, parmi les ménages modestes bénéficiaires de la prime à la conversion, 20 % ont pu choisir une motorisation électrique d'occasion en 2021, pour un prix moyen d'achat autour de 11 500 euros, équivalent à celui d'une motorisation essence². Mais du fait de la pénétration encore faible de l'électrique dans le parc automobile, le marché des véhicules électriques d'occasion n'est pas encore dimensionné pour constituer un gisement à l'échelle de la transition nécessaire.

Figure 1 – Montant total pour les ménages du premier quintile du surcoût d'investissement pour le remplacement des véhicules concernés par des citadines électriques (hors capital échoué)



Source : calculs des auteurs à partir de l'hypothèse d'un surcoût de 8 000 euros pour un véhicule du segment B par rapport à un équivalent thermique

¹ Ibid.

² Moquay L. et Niay M. (2022), « Prime à la conversion des véhicules : bilan économique et environnemental pour 2021 », *Théma Essentiel – Transport*, CGDD, septembre.

Encadré 4 – Subventions pour aider les ménages à investir pour la transition bas-carbone

Différents dispositifs ont pour objectif d'aider les ménages à investir pour la transition bas-carbone, en particulier pour la rénovation énergétique de leur logement et l'achat d'un véhicule bas-carbone. Les ménages peuvent ainsi bénéficier de subventions directes, de prêts à taux favorables, de réductions de certaines taxes. Les subventions directes attribuées au niveau national, auxquelles peuvent s'ajouter des aides locales, sont listées ci-dessous.

Les subventions pour la rénovation énergétique des logements

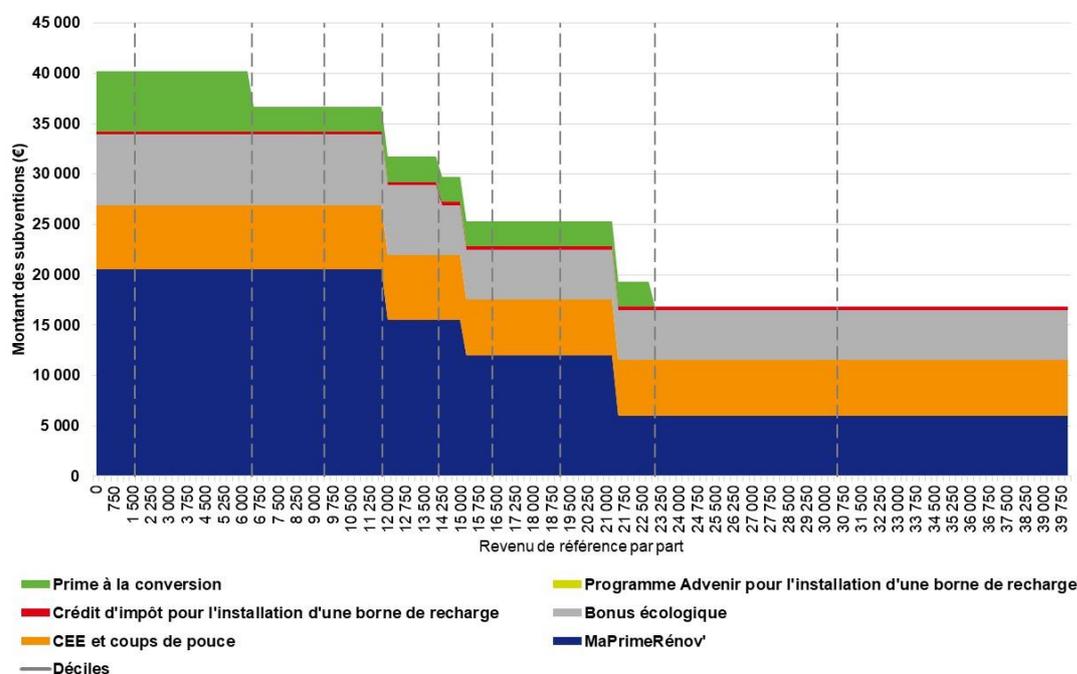
Afin de rénover leur logement, les ménages disposent de plusieurs aides différenciées par catégorie de revenu. **MaPrimeRénov'** octroie aux ménages propriétaires des subventions par type de travaux – les travaux éligibles ainsi que le montant attribué dépendent tous deux de la catégorie de revenu du ménage. Ce dispositif est complété par **MaPrimeRénov' Copropriétés** à destination des copropriétés, et par **MaPrimeRénov' Sérénité**, réservée aux ménages modestes pour des travaux apportant au logement un gain énergétique minimum. Des bonus supplémentaires sont également attribués lorsque les travaux permettent au logement de sortir de l'état de passoire énergétique ou d'atteindre un niveau BBC. Les ménages peuvent également financer leurs travaux avec l'aide des fournisseurs d'énergie via le dispositif des **Certificats d'économie d'énergie (CEE)**. De plus, dans le cadre des CEE, les « Coups de pouce énergie » définissent des primes minimales pour des travaux concernant l'isolation, le chauffage ou la rénovation performante d'une maison individuelle ou d'un bâtiment collectif.

Les subventions pour les véhicules électriques

Les particuliers souhaitant acquérir un véhicule électrique peuvent bénéficier du **bonus écologique**, une subvention correspondant à 27 % du coût d'acquisition du véhicule (plafonnée à 5 000 euros ou 7 000 euros en fonction des ressources). Sous condition de ressources, le bonus est complété par la **prime à la conversion** en échange de la mise au rebut d'un véhicule ancien. Enfin, un crédit d'impôt de 300 euros est attribué pour l'installation d'une borne de recharge électrique chez les particuliers, complété de subventions via le programme Advenir des CEE pour les particuliers en immeuble collectif.

Le graphique ci-dessous montre ces différentes subventions, en fonction des revenus du ménage, pour un cas type correspondant à la rénovation d'un pavillon et à l'achat d'une citadine électrique.

Graphique 13 – Subventions à la rénovation du logement et à l’achat d’un véhicule électrique en fonction du revenu



Hypothèses : Les hypothèses sur la rénovation viennent de l'étude « Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018, Stratégie à long terme de la France pour mobiliser les investissements dans la rénovation du parc national de bâtiments à usage résidentiel et commercial, public et privé » qui définit six logements types et les travaux performants les plus couramment réalisés selon la typologie des bâtiments. On considère ici le Pavillon de la reconstruction, représentatif de 7,1 % du parc, et le niveau le plus performant de rénovation énergétique. Les coûts de rénovation sont actualisés grâce à l'indice des prix des travaux d'entretien et d'amélioration des logements de l'Insee. On considère un modèle de voiture électrique qui permet d'obtenir le montant de bonus maximal (donc d'un prix supérieur ou égal à 26 000 euros). Pour le calcul des subventions, on considère un couple sans enfants, hors Île-de-France, hors bonifications gros rouleur et ZFE, en France métropolitaine.

Lecture : les barres verticales matérialisent les déciles de revenu.

Source : I4CE, 2023, à paraître

3. Des freins sociologiques à lever

Au-delà des « petits gestes », des changements de consommation et des changements d'investissement, les objectifs de transition ne sauraient être réalisés sans une transformation profonde des habitudes de vie et des pratiques de consommation des

ménages. Or, conduire un 4x4¹ ou opter pour les couches lavables plutôt que jetables² n'est pas une simple question de « choix » ou de niveau de revenu : ces pratiques renvoient également à des normes de consommation, à des symboles propres à chaque groupe social, dont elles fondent l'appartenance et les frontières, car « consommer c'est prendre part à la vie sociale » pour reprendre Maurice Halbwachs³.

3.1. La maison individuelle

Selon Anne Lambert, la maison individuelle, et notamment pavillonnaire, est le symbole d'un modèle social fondé sur la petite propriété, perçue comme garante de l'ordre social et promue en France depuis les années 1970⁴ : pour les ouvriers notamment, elle représenterait la consécration de l'espace local. Dans les années 1970, le logement pavillonnaire permettait alors non seulement la création de nouveaux quartiers résidentiels dans une logique d'aménagement du territoire (sur la base d'une artificialisation de terres agricoles aux abords de communes périurbaines) mais était également le fruit de l'action publique d'aide à l'accès à la propriété ciblée sur certaines populations (notamment les ménages d'ouvriers blancs, ou les familles issues de l'immigration précédemment locataires du parc HLM)⁵. Selon Thomas Le Jeannic, la maison individuelle est donc « le résultat direct du phénomène de périurbanisation et des relations de classe associées »⁶ : allongement des trajets domicile-travail, repli sur la vie domestique ou encore distanciation par rapport aux classes populaires dépendantes du parc social.

3.2. L'automobile

Centrale dans notre société, au cœur d'un récit politique ayant favorisé son développement, l'automobile peut être vue comme le symbole de l'individualisme, d'une culture de la consommation, et de l'appétit pour la mobilité et l'étalement urbain. Pour Yoann Demoli, la voiture individuelle, massifiée et diffusée désormais dans toutes les classes de la société, est caractéristique de la « fonction démonstrative de la consommation et de la

¹ Voir Comby J-B. et Grossetête M. (2012), « "Se montrer prévoyant" : une norme sociale diversement appropriée », *Sociologie*, 2012/3, vol. 3, p. 251-266.

² Lalanne M. et Lapeyre N. (2009), « [L'engagement écologique au quotidien a-t-il un genre ?](#) », *Recherches féministes*, vol. 22(1), août.

³ Halbwachs M. (1912), *La Classe ouvrière et les niveaux de vie*, Paris, Puf.

⁴ Lambert A. (2015), *Tous propriétaires ! L'Envers du décor pavillonnaire*, Paris, Le Seuil.

⁵ Bourdieu P. (1993), *La Misère du monde*, Paris, Le Seuil.

⁶ Le Jeannic T. (1997), « [Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes](#) », *Économie et Statistiques*, vol. 307, p. 21-41.

hiérarchisation des goûts¹ ». Plusieurs exemples sont en effet socialement très marqués. Ainsi, 80 % des propriétaires de 4x4 habitent des maisons individuelles dans les périphéries urbaines et sont définis comme des consommateurs intensifs². Pour d'autres sociologues dans la lignée de Bourdieu, la voiture est un facteur de distinction pour les catégories sociales dont le capital économique est supérieur au capital culturel. Dans certains milieux intellectuels, la voiture est donc négligée, réduite à sa fonction utilitaire, voire abandonnée : c'est le parachèvement de la distinction. À l'inverse, dans les classes populaires, la voiture, acquise sur le marché de l'occasion, « permet d'asseoir un statut social rêvé mais non partagé »³, en dépit de son poids démesuré dans leur budget (jusqu'à trois fois le budget moyen des ménages établi à 9,4 %).

3.3. Les régimes alimentaires

Pour beaucoup de travaux sociologiques, l'alimentation permet assez prosaïquement de manifester son statut social, à travers le montant et la nature des dépenses alimentaires⁴, ou à travers les oppositions entre cuisine élaborée et plats « de pauvres », cuisine authentique et nourriture industrielle, cuisine saine et « malbouffe »⁵. En effet, au-delà des disparités des régimes alimentaires déjà fortement liées aux inégalités de revenu (dans l'accès à l'alimentation biologique par exemple), certaines consommations alimentaires, comme la viande rouge, ont été démontrées comme très marquées socialement : alors que les faibles niveaux de consommation de viande rouge concernent les ménages ayant un revenu mensuel inférieur à 1 200 euros, les niveaux élevés sont également plus répandus chez les ménages à bas revenu⁶ (10 % déclarent en manger quotidiennement contre 4 % en moyenne). En 2017, les ménages ouvriers consommaient en moyenne 14 kg de viande bovine par an et par unité de consommation, contre 12 kg pour les ménages-cadres et 10 kg pour les ménages agricoles⁷.

On retrouve ici l'analyse de Maurice Halbwachs de la consommation, qui n'est pas seulement attachée au revenu mais à « un système de goûts et de préférences que les

¹ Voir Demoli Y. et Lannoy P. (2019), *Sociologie de l'automobile*, Paris, La Découverte.

² Sur la base de l'enquête nationale *Transports et déplacements* (ENTD), 2008. Voir Demoli Y. (2013), « [Les propriétés sociales des conducteurs de 4x4 : style de vie et rapport à l'espace](#) », Crest Working Paper.

³ Demoli Y. et Lannoy P. (2019), « [Le grand écart de l'automobilisme contemporain : un incontournable terrain sociopolitique](#) », AOC, 8 mars.

⁴ Voir les travaux de Faustine Régner (Inrae, ALISS).

⁵ Voir Coulangeon P., Demoli Y., Ginsburger M. et Petev I. (2023), *La Conversion écologique des Français. Contradictions et clivages*, Paris, Puf.

⁶ Enquête SVEN 2017, voir Coulangeon P. et al. (2023), *La Conversion écologique des Français...*, op. cit.

⁷ Insee (2017), enquête *Budget de famille*. Voir *ibid.*

individus ont progressivement formé dans leur milieu »¹. Cette analyse est à relier aux travaux de Pierre Bourdieu sur la formation des goûts² : les catégories dominantes ont des goûts « distingués », dans le sens où ces goûts, et donc leurs choix de consommation, leur permettent de se différencier des autres et ne sont pas accessibles aux autres catégories (on peut penser aujourd'hui au fait de télétravailler, d'allonger ses vacances pour y aller en train plutôt qu'en avion – c'est le phénomène de *Flygskam* en Suède, ou de manger de la viande végétale). Or ce sont ces goûts qui apparaissent comme légitimes ; les classes moyennes tendraient donc progressivement à imiter ces goûts distingués, alors que les classes populaires auraient des goûts marqués par la contrainte et la nécessité. Les nouvelles normes écologiques peuvent donc être vues comme une forme de privilège des classes aisées à qui peuvent s'offrir le choix d'une certaine frugalité, par exemple énergétique, dans un second temps valorisée et suivie par les classes moyennes cultivées³. Isabelle Moussaoui décrit ainsi une norme de consommation d'énergie pouvant aller jusqu'à une forme de sobriété ostentatoire⁴ ; dans les classes populaires en revanche, la frugalité économique résulte le plus souvent de contraintes budgétaires et est vécue dans le registre de la privation (voir le rapport thématique [Sobriété](#), notamment l'Encadré 3), comme dans le cas des ménages contraints de sous-chauffer leur logement⁵. La contrainte ressentie dans ce cas est d'autant plus forte qu'elle porte sur des éléments qui ont été promus au cours du siècle passé comme des symboles de développement économique et social⁶ tels que la maison individuelle⁷ ou l'automobile⁸.

¹ Baudelot C. et Establet R. (1994), *Maurice Halbwachs. Consommation et Société*, Paris, Puf, coll. « Philosophies ».

² Bourdieu P. (1979), *La Distinction*, Paris, Les Éditions de Minuit.

³ Voir Coulangeon P. et al. (2023), *La Conversion écologique des Français...*, *op. cit.*

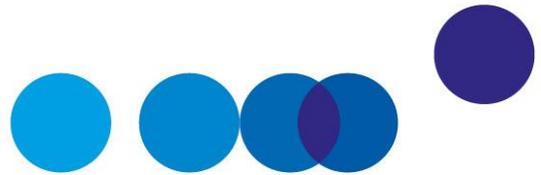
⁴ Moussaoui I. (2007), « [De la société de consommation à la société de modération. Ce que les Français disent, pensent et font en matière de maîtrise de l'énergie](#) », *Les Annales de la recherche urbaine*, vol. 103, p. 112-119.

⁵ Comby J.-B. (2015), « [À propos de la dépossession écologique des classes populaires](#) », *Savoir/Agir*, vol. 33, p. 23-30.

⁶ Le Jeannic T. (1997), « [Trente ans de périurbanisation...](#) », *op. cit.*

⁷ Lambert A. (2015), *Tous propriétaires ! L'Envers du décor pavillonnaire*, *op. cit.*

⁸ Demoli Y. et Lannoy P. (2019), *Sociologie de l'automobile*, *op. cit.*



CHAPITRE 3

LES EFFETS DU BOUCLAGE MACROÉCONOMIQUE

L'importance de ces coûts directs, transferts et compensations doit finalement être appréciée au regard de l'impact final sur les ménages de ces politiques de transition, une fois pris en compte l'ensemble des effets de bouclage macroéconomique : chocs d'offre sur les entreprises, rétroactions sur les prix des biens finaux et donc sur le pouvoir d'achat, impacts sectoriels de la réallocation des emplois, choix de progressivité ou non des prélèvements obligatoires, et plus globalement choix en matière de finances ou de politiques publiques.

1. Des effets inflationnistes différenciés

La section 1 du Chapitre 2 du rapport thématique *Inflation* énumère en détail les canaux par lesquels une hausse initiale des prix sur l'énergie ou les matières premières affecte progressivement l'ensemble des prix de l'économie. Dans un premier temps, la hausse de prix se propage au sein des entreprises d'amont en aval de la chaîne de valeur via les consommations intermédiaires et se répercute au final sur l'indice des prix à la consommation pour les ménages. Ensuite, dans un effet de second tour, les différents acteurs s'efforçant de maintenir la valeur réelle de leurs revenus, une pression à la hausse sur les salaires et les dividendes peut conduire à accentuer cette inflation.

Chacun de ces effets prix liés au bouclage macroéconomique peut affecter les ménages de manière différenciée et les ménages peuvent aussi réagir de diverses façons à une même hausse de prix. Alors qu'il est difficile de quantifier précisément la résultante des effets inflationnistes sur chaque catégorie de ménages, certaines études apportent des éclairages partiels.

Lafrogne-Joussier *et al.* (2023)¹ documentent comment le renchérissement des coûts importés et de l'énergie est répercuté sur les prix de vente des entreprises. Les auteurs montrent notamment qu'il y a une hétérogénéité dans la façon dont ces hausses de coûts sont répercutées sur les prix de vente, selon le type de coût, selon que le coût augmente ou baisse, et selon l'exposition de l'entreprise. Dans un contexte concurrentiel, une partie de la hausse des prix est généralement absorbée par une baisse des marges. Face à une hausse des prix de l'énergie affectant toutes les entreprises, les auteurs notent en revanche que ces hausses sont intégralement transmises dans le prix de vente. Les prix de vente des biens et services intensifs en énergie apparaissent donc particulièrement sensibles à la hausse du coût de l'énergie. Les ménages n'achetant pas tous les mêmes biens et services, ils peuvent par conséquent être exposés différemment aux changements de prix opérés par les entreprises.

La reprise de l'inflation sur la période récente tirée par les prix de l'énergie permet d'analyser ces effets différenciés. La hausse des prix de l'énergie (gaz, électricité et produits pétroliers) entre le deuxième trimestre 2021 et le deuxième trimestre 2022 a contribué à 3,1 points d'inflation en France, sur un total de 5,3 %, d'après Bourgeois et Lafrogne-Joussier (2022)². Les deux tiers de cet effet reflètent le renchérissement de l'énergie consommée par les ménages eux-mêmes pour se déplacer et se chauffer, le tiers restant provient des répercussions, dans les prix des autres produits, des hausses de coût de l'énergie pour les entreprises. Le poste de dépenses le plus impacté est le transport, contribuant pour moitié à l'effet total de 3,1 points, puis le logement avec une contribution d'un quart à l'effet total, avec des coûts du chauffage en forte hausse.

Mais ces chiffres masquent un effet différencié selon les catégories de ménages. En effet, la composition du panier de consommation des ménages diffère selon les caractéristiques du ménage (niveau de vie, âge de la personne de référence, sa catégorie socioprofessionnelle...). Selon que le ménage habite dans une ville ou non, dispose de moyens de transport collectif ou non, se chauffe aux énergies fossiles ou à l'électricité ou avec une pompe à chaleur, l'effet d'une hausse des prix de l'énergie sera très différent sur le montant de ses dépenses. Ainsi, en 2017, les dépenses d'énergie représentent 12,7 % des dépenses de consommation des 10 % des ménages avec les revenus les plus faibles, contre 9,5 % pour les 10 % de ménages avec les revenus les plus élevés. Plus la part de produits affectés par une forte hausse de prix est importante dans le panier d'un ménage, plus le ménage est affecté par cette inflation (cf. section 1 du chapitre 2, *supra*). Tandis que l'effet moyen documenté par Bourgeois et Lafrogne-Joussier (2022) est de 3,1 points, l'inflation augmente de 3,3 points pour les ménages du premier décile, contre 2,7 points

¹ Lafrogne-Joussier R., Martin J. et Méjean I. (2023), « [Cost pass-through and the rise of inflation](#) », *Document de travail*, Insee.

² Bourgeois A. et Lafrogne-Joussier R. (2022), « [La flambée des prix de l'énergie : un effet sur l'inflation réduit de moitié par le "bouclier tarifaire"](#) », *Insee Analyses*, n° 75, septembre.

pour ceux du décile le plus élevé. Des écarts d'un ordre de grandeur similaire se retrouvent entre professions : les cadres sont les moins affectés (+2,7 points), tandis que les ouvriers (+3,6 points), les employés et les agriculteurs (+3,3 points) le sont davantage. Les ménages de 70 ans ou plus ont quant à eux subi un renchérissement de leur consommation de 2,9 points, légèrement inférieur à celui des autres catégories d'âge. D'une part, la part des dépenses liées au logement (notamment d'électricité et de gaz) est plus élevée chez ces ménages, mais celle liée aux carburants est nettement plus faible. D'autre part, les mesures de bouclier tarifaire leur ont été globalement plus favorables, en réduisant de 3,5 points l'inflation à laquelle ils auraient été exposés, contre 3,1 points de réduction en moyenne.

Enfin, en intégrant l'effet de l'ajustement des revenus à l'inflation, Biotteau et Fontaine (2017)¹ décrivent comment une hausse générale des prix d'un point supplémentaire affecte le revenu disponible : alors qu'en moyenne le revenu disponible réel baisse de 0,3 % deux ans après cette hausse de prix, la baisse n'est que de 0,1 % pour les 10 % des ménages les plus modestes, contre 0,6 % pour les 10 % les plus aisés. En effet, d'un côté, les bas salaires sont plus fortement indexés sur les prix. D'un autre côté, les transferts sociaux, souvent indexés sur les prix, représentent une part plus élevée dans les revenus des premiers déciles ; à l'inverse la part des revenus d'activité et du patrimoine, qui s'ajustent peu aux prix, est plus élevée parmi les revenus des derniers déciles.

2. L'inégalité face aux transformations des emplois

Le rapport thématique *Marché du travail* est dévolu à décrire les effets de la transition qui transitent par le marché du travail, seules quelques considérations générales sont abordées ici, car elles sont de premier ordre. En effet, l'effet hétérogène sur les ménages de la transition écologique passe aussi par son effet sur l'emploi.

Comme souligné par Saussay *et al.* (2022)², le nombre d'emplois bas-carbone devrait croître rapidement dans les années à venir et de nombreuses études fournissent des évaluations des emplois créés lors de la transition bas-carbone³. Par exemple, Quirion

¹ Biotteau A.-L. et Fontaine M. (2017), « Effet d'un choc d'inflation sur le revenu disponible et ses composantes deux ans après : une approche par microsimulation », *Document de travail*, Insee.

² 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, octobre.

³ Notons que les chiffres peuvent être très différents selon les études, notamment parce que les territoires étudiés ou encore les années ou périodes d'études ne sont pas les mêmes, mais aussi à cause des différences dans les méthodologies et définitions, en particulier la prise en compte des emplois directs ou indirects. Voir Cameron L. et van der Zwaan B. (2015), « Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, mai, p. 160-172.

(2022)¹ propose une évaluation du nombre d'emplois créés dans les filières des énergies renouvelables et la rénovation thermique du bâtiment, en cas de déploiement d'un scénario négaWatt 2022 (passage de 73 000 emplois en 2021 à plus de 200 000 à partir de 2030 pour les énergies renouvelables, et bien que diminuant légèrement après 2030, la rénovation thermique pourrait faire passer le nombre d'emplois de 170 000 en 2021 à plus de 385 000 entre 2029 et 2050). Tourbah *et al.* (2022)² estiment quant à eux le nombre d'emplois créés suite à des investissements additionnels dans le secteur des travaux publics compatibles avec l'atteinte des objectifs de la Stratégie nationale bas carbone et de la Programmation pluriannuelle de l'énergie. Ils aboutissent à une création nette d'emplois, entre 300 000 et 400 000 emplois supplémentaires. Adoptant une analyse sectorielle en équilibre général, ils mettent aussi en exergue le fait que certains secteurs observeront des pertes d'emplois lors de la transition bas-carbone. En effet, certains secteurs verront leur activité baisser de façon significative ainsi que leur nombre d'emplois induisant ainsi des ménages touchés par le chômage (par exemple la cokéfaction ou le raffinage, ou encore des secteurs subissant des effets indirects de substitutions).

En outre, les compétences recherchées dans les secteurs qui voient leur nombre d'emplois augmenter vont évoluer, ce qui appelle notamment à un effort de formation à de nouveaux métiers pour certains travailleurs. C'est ce que rappellent Tourbah *et al.* (2022) dans le cas de l'augmentation de l'activité du secteur travaux publics pour des infrastructures bas-carbone. Ceci serait le cas aussi dans le secteur de l'automobile qui devrait évoluer vers plus de véhicules électriques et moins de véhicules thermiques. Ainsi, une partie de la main-d'œuvre actuelle du secteur, chargée de la production et de la réparation, peut ne pas être en mesure d'acquérir rapidement les nouvelles qualifications requises pour ces nouvelles missions.

Saussay *et al.* (2022) soulignent cette problématique en rappelant que la transition bas carbone pourrait entraîner des coûts de réaffectation de la main-d'œuvre très élevés – coûts associés à la reconversion et aux pertes de revenus. Aussi bien Saussay *et al.* (2022) que Tourbah *et al.* (2022) suggèrent une anticipation par les pouvoirs publics de ces problématiques de réaffectation et de besoins de formation afin d'assurer une transition juste et fluide.

¹ Quirion P. (2022), « TETE, un outil pour estimer les emplois générés par la transition écologique. Présentation et application au scénario négaWatt 2022 », *Revue de l'OFCE*, vol. 176, p. 329-346.

² Tourbah A., Reynes F., Hamdi-Cherif M., Jinxue Hu, Landa G. et Malliet P. (2022), « Investir dans des infrastructures bas-carbone en France, quels impacts macro-économiques », *Revue de l'OFCE*, vol. 176, p. 297-328.

3. Concilier les enjeux macroéconomiques et distributifs sous contrainte de maîtrise budgétaire

3.1. Le choix de politiques publiques pour la transition affectera la contrainte budgétaire dans laquelle s'inscrira le soutien aux ménages et à l'économie

La transition vers une économie bas-carbone implique des changements qui affecteront l'économie et les inégalités. Les politiques de transition auront un coût macroéconomique et social qu'il conviendra de maîtriser et cela passera nécessairement par des mesures au coût budgétaire significatif (cf. chapitre 2). Parallèlement, la contrainte de maîtrise budgétaire peut faire émerger des tensions entre les enjeux macroéconomiques et les enjeux distributifs. Dans ce contexte, les politiques climatiques, les politiques économiques et les politiques de réduction des inégalités doivent être appréhendées conjointement.

Le recours à la fiscalité, aux incitations financières, à l'investissement public ou aux normes et à la réglementation pour mettre en œuvre la transition embarque des conséquences différenciées sur la répartition de l'effort entre individus, sur les performances économiques et sur les finances publiques. De fait, toutes les mesures n'offrent pas les mêmes flexibilités pour pallier les effets économiques et distributifs de la transition. Au premier abord, la fiscalité directe fait supporter directement le coût des investissements et de la taxe par les ménages. La réglementation n'embarque pas de charge fiscale apparente pour les ménages mais recèle toujours un coût caché en matière d'investissements à réaliser. À l'inverse, les subventions ou les investissements publics apparaissent portés par la puissance publique. Cette perception des mesures conduit à une acceptabilité plus forte des investissements publics et des subventions que de la fiscalité environnementale, la réglementation se trouvant dans une situation intermédiaire.

Néanmoins, à budget public donné, les subventions ou les investissements publics appellent des contreparties. Comme le rappelle Blanchard *et al.* (2022), « la subvention de quelqu'un est toujours un impôt pour quelqu'un d'autre¹ ». À l'inverse, la fiscalité génère des ressources permettant de financer des politiques visant notamment à réduire l'impact de la transition sur les inégalités (réutilisation des recettes de la taxe sous forme de chèque énergie) ou sur la performance économique (baisse d'impôts sur la production par exemple). Les projets de fiscalité carbone en France ont malheureusement souffert de l'absence de discussions sur les politiques fiscales conduites simultanément, ce qui a

¹ Blanchard O., Gollier C. et Tirole J. (2022), « [The portfolio of economic policies needed to fight climate change](#) », PIIE, Working Papers, novembre.

nourri le sentiment de défiance envers le pouvoir politique et les administrations fiscales¹. Quelles que soient les mesures retenues, il y aura des coûts visibles ou cachés qu'il faudra atténuer en particulier pour les plus vulnérables. Les coûts cachés peuvent permettre une acceptation facilitée à court terme. Le risque, comme ils sont cachés, c'est que ces coûts touchent les plus vulnérables sans que cela ne soit initialement identifié et atténué. Le risque d'injustices et d'oppositions par la suite n'en est pas forcément réduit.

À l'issue de plus de trois décennies de travaux, s'est dégagé un consensus solide sur la supériorité macroéconomique de substituer partiellement la fiscalité écologique à des prélèvements obligatoires préexistants qui pèsent sur les facteurs de production, et en particulier en Europe et en France, une substitution partielle à des cotisations sociales sur les salaires, mais ce à dépenses de protection sociale constantes. La transition écologique peut ainsi être l'opportunité d'un réarrangement fiscal potentiellement avantageux : taxer les « *bads* » (énergies fossiles et pollutions) et détaxer les « *goods* » (revenus salariaux et l'emploi). Cette solution permet de bloquer la propagation des surcoûts énergétiques à l'ensemble de l'économie (cf. section 2.1 du chapitre 2, *supra*) et l'effet inflationniste de la transition, en compensant très largement les systèmes productifs (tous rémunèrent leurs travailleurs) et en créant un environnement économique favorable pour les secteurs intensifs en emplois de la transition. Les simulations et analyses appliquées à la France confirment ce diagnostic², sans toutefois comparer toutes les alternatives, y compris les réformes fiscales récentes³. En outre, les simulations montrent que les conditions sont plutôt favorables dans le contexte français, caractérisé par un haut niveau de prélèvements sur les revenus salariaux, une forte dépendance aux importations d'énergies fossiles, et des potentiels d'activités intensives en emplois non délocalisables, par exemple pour la rénovation des bâtiments.

Cela n'implique évidemment pas d'exclure d'autres mesures que la fiscalité pour réaliser la transition, mais celles-ci doivent être utilisées à bon escient pour résoudre des problèmes bien identifiés, tels que des blocages organisationnels, des restrictions d'accès au financement ou les besoins de nouvelles infrastructures publiques.

¹ Baratgin L. et Combet E. (2022), « [Quelques pistes pour concilier des objectifs sociaux, économiques et écologiques](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 176, p. 121-146.

² Voir par exemple Callonnec G. et Combaud M. (2019), [Les effets macroéconomiques et environnementaux de la fiscalité carbone](#), rapport particulier n° 4 annexé au rapport de la Cour des comptes (2019), [La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique](#), septembre ; Combet E. (2013), [Fiscalité carbone et progrès social. Application au cas français](#), thèse de doctorat, EHESS ; Hourcade J.-C. et Combet E. (2017), [Fiscalité carbone et finance climat. Un contrat social pour notre temps](#), Paris, Les Petits matins ; Douillard P., Epaulard A. et Le Hir B. (2016), « [Modèles macroéconomiques et transition énergétique](#) », *La Note d'analyse*, n° 43, France Stratégie, février.

³ Toutes les alternatives de baisses de prélèvement sur les facteurs de production n'ont pas été comparées. Celles décidées ces derniers années (suppression de la taxe professionnelle, puis le CICE et plus récemment les baisses des « impôts de production ») ont des assiettes plus étroites que les cotisations sociales. L'incidence globale de ces réarrangements de la fiscalité n'a, à notre connaissance, pas encore été étudiée.

Enfin, la fiscalité environnementale ne suffira pas à lever les tensions entre équité et performance économique. Sous contrainte budgétaire toujours, la fiscalité écologique n'apporte pas assez de ressources pour financer à la fois ces mesures de compensation des effets socioéconomiques et les nouveaux investissements publics nécessaires dans la transition.

3.2. Pour accompagner la transition, des arbitrages nécessaires entre politiques économiques et politiques distributives

Les travaux de microsimulation qui n'intègrent pas les effets macroéconomiques ont de leur côté montré l'intérêt, sur le plan de l'équité, d'une redistribution forfaitaire des recettes de taxe carbone aux ménages¹ (via par exemple un chèque d'un montant identique ou décroissant avec le revenu réduit les inégalités moyennes entre riches et pauvres). Mais de leur côté, les études macroéconomiques montrent que cette option de redistribution forfaitaire aux ménages est plus coûteuse qu'une substitution à des prélèvements sur les facteurs de production. Ce mode de redistribution a un effet inflationniste supérieur qui pèse sur l'activité, l'emploi et les revenus.

La performance, au regard des principaux indicateurs macroéconomiques (PIB, emploi, pauvreté, inégalités), des dispositifs de compensation « hybride » entre baisses de prélèvements existants et compensations forfaitaires ciblées, est établie dans divers travaux internationaux², et dans plusieurs rapports publics français qui traitent des réformes fiscales écologiques et apportent un certain nombre d'enseignements³ :

- Sous contrainte de neutralité budgétaire, les modalités de compensation des surcoûts de la transition écologique devront trouver un bon équilibre entre des redistributions directes et la compensation des coûts de production pour bloquer l'inflation. Ce bon équilibre dépend des hypothèses de réactions macroéconomiques et de la cible d'équité.

¹ Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41(3), juillet ; Berry A. (2019), « [Compensating households from carbon tax regressivity and fuel poverty: A microsimulation study](#) », Working Paper.

² Goulder L.H., Hafstead M. A.C., Kim G. et Long X. (2019), « [Impacts of a carbon tax across US household income groups: What are the equity-efficiency trade-offs?](#) » *Journal of Public Economics*, vol. 175, p. 44-64 ; Williams R. C. I., Gordon H., Burtraw D., Carbone J. C. et Morgenstern R. D. (2015), « [The initial incidence of a Carbon tax across US States](#) », *National Tax Journal*, vol. 68, p. 195-214 ; Rausch S., Metcalf G.E. et Reilly J. M. (2011), « [Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households](#) », *Energy Economy*, vol. 33, p. S20-S33 ; Combet E., Ghersi F., Hourcade J.-C. et Thubin C. (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *Revue française d'économie*, XXV, p. 59-91 (voir [Annexe 2](#) pour une présentation plus détaillée de ce dernier).

³ Ademe (2022), [Condition de reprise d'une valeur équitable du carbone](#), juillet. État des lieux des arguments et examen comparé des options de politique publique ; Conseil des prélèvements obligatoires (2019), [La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique](#), septembre ; Rocard M. (2009), [Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie](#), juillet.

- Les meilleurs dispositifs limitent et ciblent les compensations directes sur les plus vulnérables (ménages et entreprises), maîtrisent ainsi le coût de la redistribution et disposent de ressources publiques pour bloquer la propagation des surcoûts de transition.
- L'enveloppe, le champ et les modalités d'attribution des compensations directes aux « plus vulnérables » doivent être précisés, améliorés et pilotés. Le ciblage doit en outre considérer les inégalités de situation au-delà des différences de revenu, compte tenu des inégalités d'accès aux alternatives à moyen terme et l'ampleur des inégalités dites « horizontales » (cf. section 2 du chapitre 1, *supra*).
- Un recours plus important à des normes et des réglementations au détriment de la fiscalité écologique amoindrit les ressources publiques disponibles pour financer ces compensations. L'effet inflationniste des coûts de mise en conformité devra tout de même être maîtrisé, mais il génèrera des rentes privées plutôt que des recettes publiques. Ainsi, les analyses devront intégrer les conséquences budgétaires complètes de paquets de mesures alternatifs pour une même valeur du carbone dans l'économie.
- Si un financement direct d'alternatives à l'usage des énergies fossiles pour des publics vulnérables serait préférable – lorsque possible – aux compensations monétaires du surcoût des énergies fossiles, ces financements ne pourront ni être entièrement apportés par des fonds publics ni déployés à très court terme pour l'ensemble des publics vulnérables. Des compensations monétaires transitoires et ciblées restent donc nécessaires.

3.3. La diffusion du progrès technique pour alléger la tension entre équité et performance économique

Pour maximiser la baisse des émissions et les économies d'énergie, les subventions à la rénovation et aux changements d'équipements sont plus efficaces si elles font adopter ce progrès technique en priorité par les gros consommateurs carbonés les plus inefficaces. Comme la performance des bâtiments et les systèmes de chauffage sont assez peu corrélés au niveau de revenu, des subventions efficaces sur le plan énergétique ne sont pas un instrument suffisant pour régler le problème des inégalités verticales et horizontales. À l'inverse, le ciblage des subventions uniquement selon le revenu pour des raisons d'équité s'avèreront moins efficace pour réduire les consommations d'énergie et les émissions. Le surcoût de la baisse supplémentaire d'émissions requise risque d'être supporté par les plus modestes.

Certains travaux¹ élargissent ainsi l'analyse en intégrant différentes hypothèses de diffusion du progrès technique, là encore en mobilisant une architecture de simulation « macro-micro »².

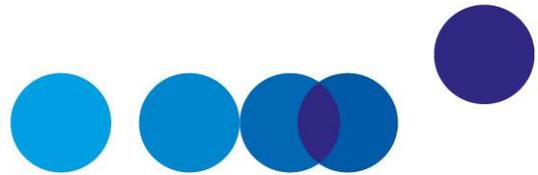
Il en ressort que les scénarios de transition où la diffusion du progrès technique est plus rapide et efficace énergétiquement (par exemple, nombre de rénovations globales performantes) sont ceux qui aboutissent à une baisse plus importante de la part des dépenses énergétiques dans le revenu des ménages. Ceci réduit la vulnérabilité économique globale des ménages à l'énergie à tout niveau de revenu et de localisation. Toutefois, dans l'ensemble des scénarios, une part importante de ménages peine à adopter le changement technique. Ces ménages restent dépendants aux énergies fossiles et font face à une contrainte croissante sur le carbone (fiscalité, réglementation) pesant sur leur budget. Cela souligne encore l'importance de l'identification et de l'accompagnement de ces ménages pour gérer le problème des inégalités entre ceux qui ont adopté le progrès technique et ceux qui sont encore dépendants aux fossiles.

In fine, les meilleurs dispositifs sont les paquets de mesures équilibrés qui permettent : 1/ d'augmenter le tempo de diffusion du progrès technique, 2/ de favoriser son adoption par les consommateurs les plus inefficaces et les plus carbonés, 3/ de garantir les besoins essentiels en énergie tout en limitant au-delà les effets rebond par une politique de sobriété, et 4/ de mettre en œuvre un système de compensation mixte (une baisse d'impôts sur les coûts de production associé à un dispositif de transferts et d'accompagnement transitoires limités et ciblés sur les plus vulnérables).

Au-delà des travaux déjà menés, il reste aujourd'hui un besoin d'analyse large pour tenir compte de ces interactions et offrir une vision d'ensemble, à travers différents indicateurs (coûts de production et inflation, équilibre des finances publiques, inégalités dans plusieurs dimensions, pauvreté, économies d'énergie et baisse des émissions), de l'équilibre des effets macroéconomiques et distributifs de la transition (voir [Annexe 3](#)).

¹ Ravigné E., Gherzi F. et Nadaud F. (2022), « [Is a fair energy transition possible? Evidence from the French Low-Carbon Strategy. *Ecological Economics*](#) », *Ecological Economics*, vol. 196, juin, sur le passage du Facteur 4 à la neutralité carbone dans la SNBC 2 ; Petiteville M. *et al.* (à paraître), *Les inégalités entre ménages dans la transition. Une analyse prospective des effets distributifs dans les scénarios Transition(s) 2050*, rapport Ademe, sur l'effet de la transition sur les inégalités dans les scénarios Ademe. Voir [Annexe 2](#) pour une présentation détaillée de ces travaux.

² Par itérations entre un modèle macroéconomique et un modèle de microsimulation.



CONCLUSIONS

Pour apprécier les effets des politiques de transition sur les ménages, une approche macroéconomique est donc incontournable : les effets du renchérissement du coût du carbone (quelles qu'en soient la forme et l'origine) dans l'économie via les coûts et les prix de production, le changement structurel, la diffusion du progrès technique, les salaires et les emplois sont *in fine* d'un ordre de grandeur comparable aux seuls effets des politiques visant directement la consommation et l'investissement des ménages (prix des énergies, obligations/interdictions réglementaires). Il en est de même des impacts budgétaires des politiques de transition et des modalités de leur financement, qui emportent aussi des effets macroéconomiques et distributifs.

Reconsidérer la fiscalité environnementale qui reste un instrument privilégié pour atténuer le coût de la transition tout en conciliant compétitivité et équité

Face à la tension entre les objectifs d'efficacité environnementale, d'efficacité macroéconomique et d'équité, un consensus scientifique solide s'est de longue date dégagé sur l'intérêt de renforcer la fiscalité écologique sur les entreprises et les ménages et de réduire en contrepartie des prélèvements obligatoires préexistants qui pèsent sur les facteurs de production. En France, et plus généralement en Europe, cette bascule pourrait se faire en particulier *via* une substitution partielle des cotisations sociales sur les salaires, tout en maintenant constant le niveau global de ressources affectées au financement de la protection sociale. Cette solution permettrait de bloquer la propagation des surcoûts énergétiques à l'ensemble de l'économie et l'effet inflationniste de la transition, en compensant très largement les systèmes productifs et en créant un environnement économique favorable pour les secteurs intensifs en emplois de la transition. À budget global constant, les meilleurs dispositifs limitent et ciblent les compensations directes sur les plus vulnérables (ménages et entreprises), pour maîtriser le coût de la redistribution et préserver ainsi des ressources publiques pour bloquer la propagation des surcoûts temporaires de la transition.

Devant le niveau d'effort de réduction attendu désormais, se passer de fiscalité environnementale en complément des réglementations et des aides apparaît plus coûteux : le renforcement du prix du carbone produit des effets de sobriété, et réduit donc les besoins d'investissement et le coût macroéconomique des dispositifs de soutien. À défaut, les surcoûts macroéconomiques et l'inflation seront au mieux identiques, voire supérieurs, et les

ressources disponibles pour financer les mesures d'accompagnement et de compensation moindres, alors que ces dernières à destination des ménages pourraient représenter jusqu'à un point de PIB en lien avec l'objectif « Fit for 55 » en 2030.

Bien cibler les mesures d'aide et renforcer l'accompagnement des ménages vulnérables

Les politiques d'incitation et d'accompagnement à destination des ménages restent délicates à cibler et à dimensionner, prises également dans un dilemme entre équité et efficacité.

L'empreinte carbone de la consommation des ménages est en moyenne croissante avec le revenu, avec par exemple un rapport de 1 à presque 3 entre celle des ménages les plus pauvres et celle des ménages les plus aisés, et sa structure se modifie également : en moyenne, les émissions des *seuls déplacements en avion* des ménages les plus aisés (10^e décile), 1,7 MtCO₂eq par ménage et par an, sont équivalentes aux émissions de *l'ensemble des déplacements* des ménages les plus modestes (1^{er} décile), et équivalentes à celles des déplacements domicile-travail des ménages médians (3^e quintile). Face à cette disproportion, la question de la juste répartition de l'effort doit être posée, sachant que l'effort de réduction devra malgré tout concerner tout le monde, car les 20 % des ménages les plus aisés ne représentent malgré tout que 30 % des émissions de la demande finale totale.

D'une part, les interdictions doivent contraindre à changer de biens ceux qui n'ont pas besoin des aides, mais sans bloquer ceux qui n'ont pas les moyens de transformer leurs biens, même avec des incitations. Dans le cas des zones à faibles émissions, il apparaît que cette interdiction représente davantage une contrainte pour les ménages les plus modestes. Dans le cas de l'interdiction de mise en location des appartements peu efficaces énergétiquement, la contrainte porte à l'inverse sur les ménages les plus aisés sans bloquer les ménages qui n'auraient pu y faire face, puisque les propriétaires occupants ne sont pas directement concernés, sauf à ce que cette loi ne génère de la pénurie sur le marché de la location.

D'autre part, pour que les subventions conduisent à amorcer l'action des ménages sans surcompenser leurs investissements ou créer des effets d'aubaine, elles doivent être calibrées afin de ne cibler que les ménages (1) qui en ont besoin et (2) qui vont pouvoir faire les investissements et (3) qui vont effectivement les faire. Malgré cela, en tenant compte des contraintes budgétaires, le calibrage des subventions peut conduire à cibler les ménages qui ne sont pas les plus modestes.

Des subventions qui cherchent à maximiser la réduction des émissions favoriseront plutôt les ménages aisés, qui consomment davantage d'énergie pour leur logement et qui se déplacent plus avec de grosses voitures, au risque d'accroître les inégalités futures. De l'autre côté, la prise en charge du coût de la transition pour les ménages « vulnérables » les plus contraints économiquement et sans accès à court terme aux alternatives à l'usage des énergies fossiles reste indispensable face au montant initial des investissements à réaliser

(par exemple 15 000 euros de surcoût pour l'achat d'une « citadine » [B] électrique par rapport à son équivalent thermique, ou 10 000 euros [net] pour le remplacement anticipé d'une chaudière fioul par une pompe à chaleur), et à la faiblesse de leurs marges de manœuvre financière. Pour atteindre ses objectifs, ce ciblage devrait considérer les inégalités de situation au-delà des seules différences de revenu, compte tenu de leur grande variabilité (à niveau de vie donné, le taux d'effort énergétique peut varier d'un facteur 2 ou plus entre les ménages) et des inégalités d'accès aux alternatives à moyen terme.

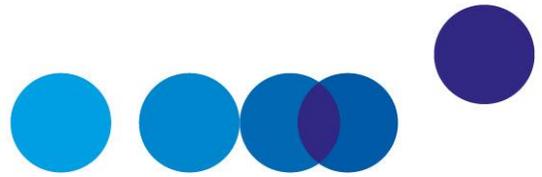
Un tel ciblage pose un réel défi opérationnel aux politiques publiques, qui ne peuvent pas à l'heure actuelle s'appuyer sur un système d'information adéquat. Celui-ci reste à construire ou à organiser de manière plus décentralisée avec les collectivités territoriales et les acteurs sociaux. Faute d'en disposer, les aides tarifaires exceptionnelles décidées dans le contexte des prix élevés des énergies ont bénéficié à tous à la mesure des consommations de chacun, et donc davantage en proportion aux ménages aisés, pour un coût budgétaire non soutenable et dont le financement peut avoir *in fine* des conséquences négatives sur les plus modestes (baisse de la dépense publique, hausse des impositions générales...). Une tarification duale de l'énergie, avec un quota d'énergie par ménage à coût subventionné et le reste au prix de marché, permettrait déjà d'améliorer le ciblage tout en conservant le signal prix qui porte sur le coût marginal de l'énergie ; cette piste mériterait d'être explorée en dépit des difficultés opérationnelles qu'elle soulève.

Développer l'analyse macroéconomique et distributive de divers paquets de mesures pour construire une vision complète de l'équité de la transition

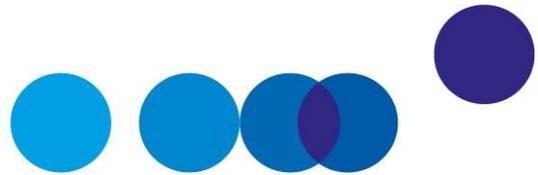
Le complément nécessaire à ces politiques qui misent sur le changement des conduites individuelles sont des politiques publiques structurelles qui assureront les conditions de possibilité de ces changements (infrastructures de transport en commun, infrastructures de recharge électrique, réseaux électriques et de chaleur, structuration et développement d'une offre de qualité pour les travaux de rénovation énergétique, etc.).

Des analyses d'ensemble approfondies restent nécessaires pour comparer finement les effets macroéconomiques et distributifs, dans les différentes dimensions pertinentes, des options alternatives de paquets de mesures (signal-prix, normes, quotas, subventions...).

Enfin, au-delà des ajustements des comportements et du verdissement des investissements, les objectifs de transition ne sauraient être réalisés sans une transformation profonde des habitudes de vie et des pratiques de consommation des ménages, et donc des normes sociales et des dimensions symboliques qui les sous-tendent. Celles-ci échappent aujourd'hui à la seule analyse économique.



ANNEXES



ANNEXE 1

EMPREINTE CARBONE : DÉFINITION ET MESURE

L'approche consommation de comptabilité carbone, dite aussi de l'empreinte carbone vise à associer les émissions issues des activités de production à la demande finale que ces activités servent, indépendamment de leur localisation géographique.

Comme souligné par le Giec, ce terme d'empreinte carbone ne fait pas consensus dans la communauté scientifique ; et aussi bien sa définition que sa méthodologie d'évaluation ne sont pas uniques selon les champs de recherche¹ (voir Wiedmann et Minx, 2007² pour une présentation détaillée de sa définition selon les contextes). Dans le cadre de ce travail, nous la définissons comme l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre (GES) induites par la consommation finale.

D'un point de vue méthodologique, l'approche consommateur s'appuie en premier lieu sur les inventaires d'émissions nationaux (National Emissions Inventories – NEI, soit une approche producteur), qui sont ensuite corrigés pour prendre en compte les flux d'émissions de commerce international : les émissions associées aux exportations sont retranchées tandis que celles liées aux importations sont additionnées (Peters et Hertwich, 2008)³.

En ce sens, ces deux » approches s'inscrivent dans un cadre comptable partagé mais diffèrent sur les allocations d'émissions entre les différents acteurs économiques en fonction notamment de leur localisation.

Le calcul de l'empreinte carbone à l'échelle d'un pays s'appuie à la fois sur les comptes environnementaux (flux physiques) qui recensent par secteur d'activité les émissions selon

¹ « *There is no single accepted carbon footprinting methodology (...), nor is there one widely accepted definition of carbon footprint.* ». Voir Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. E. (2006), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, rapport technique, International Panel on Climate Change (IPPC).

² Wiedmann T. et Minx J. (2007), « *A definition of Carbon Footprint* », *Science*, vol. 1(1), p. 1-11.

³ Peters G. P. et Hertwich E. G. (2008), « *CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy* », *Environmental Science & Technology*, vol. 42, p. 1401-1407.

leur type de gaz ou origine, et sur les tables entrées-sorties multirégionales qui synthétisent, dans un cadre comptable cohérent et équilibré, les flux économiques croisés entre secteurs d'activités et régions du monde, aussi bien pour les usages intermédiaires que finaux.

À l'aide d'une analyse entrée-sortie étendue aux comptes environnementaux (Leontief, 1970 ; Lipnowski, 1976)¹, il est possible de déterminer les émissions générées tout au long de la chaîne de valeur globale, selon leur origine géographique et secteur d'activité, par la demande finale provenant d'un pays en particulier (Davis *et al.*, 2011 ; Barrett *et al.*, 2013)².

L'empreinte carbone ne se construit donc pas par des observations directes, mais s'infère à travers la mobilisation d'un cadre comptable associé à un appareil statistique, et pour lesquelles les hypothèses retenues comme la qualité des sources statistiques influencent la précision des résultats. Plusieurs bases de données co-existent, et diffèrent entre elles par leur nomenclature d'activités, les comptes environnementaux associés, leur couverture géographique ou les méthodes de résolution d'incohérences statistiques, ce qui explique les différences de résultats observés (Moran et Wood, 2014³ ou Bourgeois *et al.*, à paraître⁴) et traduit l'incertitude qui entoure ces indicateurs. En France, le SDES⁵ est responsable de la construction de ces données et fonde sa méthode sur une analyse *input-output* unilatérale⁶ des tables entrées-sorties de la France et de l'Union européenne, associée à la formulation d'hypothèses sur les coefficients techniques et les facteurs d'intensité pour les appareils productifs extérieurs à l'UE. La méthodologie fondée sur les travaux de Pasquier (2020)⁷ a été révisée en 2021 à la suite de la publication d'un rapport du Haut conseil sur le climat (2020)⁸, notamment pour affiner la prise en compte des émissions importées hors UE.

¹ Leontief W. (1970), « [Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach](#) », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52(3), p. 262-271 ; Lipnowski F. (1976), « [An input-output analysis of environmental preservation](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 3, p. 205-214.

² Davis S. J., Peters G. P., et Caldeira K. (2011), « [The supply chain of CO₂ emissions](#) », National Academy of Sciences of the United States of America ; Barrett J., Peters G., Wiedmann T., Scott K., Lenzen, M., Roelich K. et Le Quere C. (2013), « [Consumption-based GHG emission accounting: a UK case study](#) », *Climate Policy*, vol. 13, p. 451-470.

³ Moran D. et Wood R. (2014), « [Convergence between the Eora, WIOD, EXIOBASE, and OpenEU's consumption-based carbon accounts](#) », *Economic Systems Research*, vol. 26(3), p. 245-261.

⁴ Bourgeois A., Gervois F. et Lafrogne-Joussier R. (à paraître), « Forces et faiblesses des tableaux internationaux entrées-sorties pour le calcul de l'empreinte carbone », *Document de travail*, Insee.

⁵ Service des données et études statistiques.

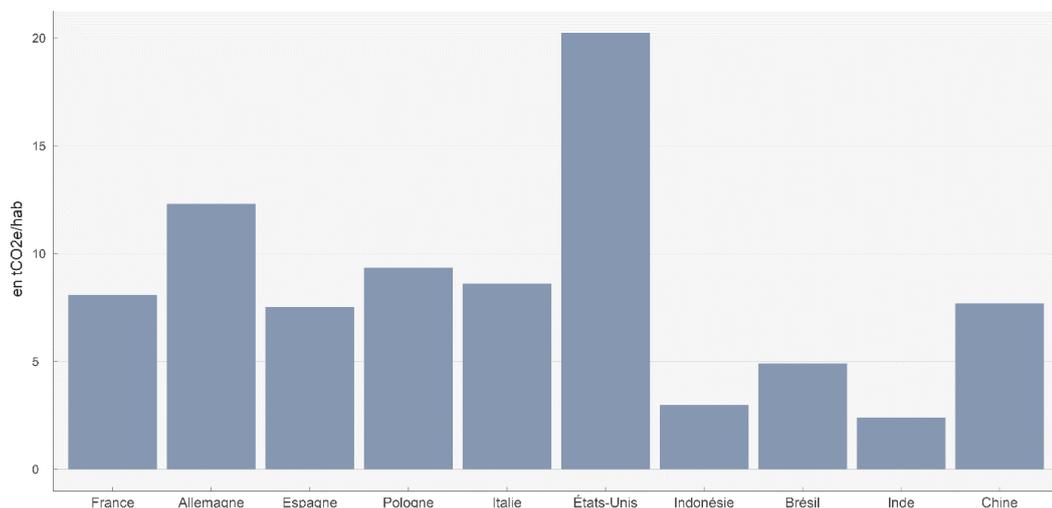
⁶ L'approche unilatérale, contrairement à celle multirégionale, considère une économie nationale et une matrice *input-output* des importations. Elle a l'avantage de pouvoir reposer sur des données partielles directement issues d'institut statistiques publiques, et ainsi être mise à jour en fonction du calendrier de publication. Toutefois la dépendance des résultats aux hypothèses nécessite un travail d'analyse supplémentaire.

⁷ Pasquier J.-L. (2020), [Méthodologie de calcul de l'empreinte carbone de la demande finale intérieure française](#), CGDD, janvier.

⁸ Haut conseil pour le climat (2020), « [Maîtriser l'empreinte carbone de la France](#) », novembre.

L'individualisation des émissions à l'échelle individuelle repose généralement sur une division des émissions totales par la population totale et ne se fonde pas sur des micro-données pour établir cette relation. Ainsi, le passage de l'empreinte carbone définie à l'échelle d'un pays à celle des ménages consiste généralement à diviser les émissions totales par la population totale pour une empreinte moyenne par ménage, mais ne se fonde pas sur des micro-données pour établir cette relation. Ce faisant, chaque individu est considéré comme moyen, ce qui ne permet donc pas de renseigner l'hétérogénéité des caractéristiques socioéconomiques de la population et donc de déterminer une distribution statistique d'empreinte carbone, même si cela reste néanmoins un indicateur global pertinent de comparaison entre pays¹ (Graphique A1).

Graphique A1 – Empreinte carbone par habitant en 2015 pour les pays de l'UE

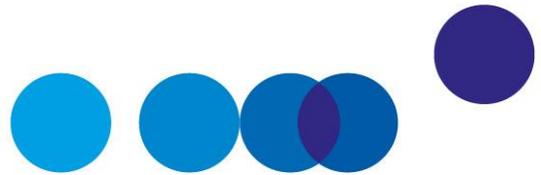


Note : cet indicateur de moyenne prend en compte l'ensemble de la demande finale et dont la composition peut différer selon les États. Ainsi l'Investissement en représente 22 % pour la France, contre 42 % pour la Chine.

Lecture : l'empreinte carbone moyenne par habitant en France est de 8,5 tCO₂e en 2015 contre 21 tCO₂e pour un habitant des États-Unis.

Source : Exiobase 3.8.2, World Bank (population), calcul des auteurs

¹ À noter que l'individualisation des émissions peut tout autant se faire pour un indicateur d'émissions producteur, quand bien même le lien ne serait pas ici celui de la consommation.



ANNEXE 2

QUELQUES ÉVALUATIONS DÉTAILLÉES COMBINANT MACROÉCONOMIE ET EFFETS DISTRIBUTIFS

La quantification des effets conjoints, macroéconomiques et redistributifs, des scénarios de transition et des réformes les soutenant est aujourd'hui partielle. Cette annexe présente plus en détail les résultats des évaluations actuellement disponibles pour la France.

Combet *et al.* (2010) : compensation de l'inflation *versus* redistribution directe

Combet *et al.* (2010)¹ donne des ordres de grandeur qui éclairent l'arbitrage entre le besoin de compensation de l'effet inflationniste sur les coûts de production et le besoin de redistribution directe pour pallier les conséquences inégales sur les ménages. Les auteurs étudient les effets macroéconomiques et redistributifs de l'atteinte progressive d'un même niveau de taxe carbone volontairement élevé (300 €/tCO₂) en comparant différentes modalités d'usage des recettes (Tableau A1).

Plusieurs dispositifs de compensation hybride permettent de mieux concilier les objectifs macroéconomiques et redistributifs. Les trois dispositifs modélisés se distinguent par l'enveloppe et le niveau de ciblage des compensations forfaitaires :

- 1) Le premier reverse également à tous les ménages les recettes qu'ils ont acquittées (enveloppe restreinte, sans ciblage) : 42,8 % des recettes de la taxe sont ainsi allouées à ces compensations directes. Les 57,2 % restants apportent des cotisations en substitut de prélèvements sur les salaires.

¹ Combet E. *et al.* (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *op. cit.*

Tableau A1 – Effets macroéconomiques et redistributifs d'une taxe carbone à 300 €/tCO₂ selon différentes modalités d'usage des recettes

Modalité d'usage des recettes	Effet macroéconomique	Effet redistributif
Non-redistribution de la taxe	<ul style="list-style-type: none"> – déficit public – dette / PIB – croissance (-6,5 %) + chômage (+5,2 %) + pression fiscale (+7 points) + coûts énergétiques (+1,6 %) – demande interne – exportations nettes – salaires nets (-1,6 %) – consommation non énergétique (-10,8 %) 	+ inégalités de pouvoir d'achat (+1,3 % indice de Gini)
Ratio dette / PIB constant (neutralité budgétaire) →recettes de la taxe remplacent les cotisations sociales sur les salaires	<ul style="list-style-type: none"> – coûts de production (-1 %) + croissance (+1,9 %) + emploi (+3,5 % ETP) + consommation non énergétique (+1,6 %) + exportations nettes (dévaluation fiscale) 	<ul style="list-style-type: none"> + consommation des plus pauvres (+1 %) + inégalités de consommation non énergétique (+2 % indice de Gini) →Ménages piégés entre inflation et gains (emploi, revenu) peu visibles
Recettes forfaitairement et intégralement redistribuées aux ménages (taille, composition)	<ul style="list-style-type: none"> + prix et coûts de production (+3,7 %) – croissance économique (-0,7 %) 	<ul style="list-style-type: none"> – d'inégalités de consommation (-5,5 %) + consommation des plus pauvres (+5,1 %) →pas de compensation de l'inflation et perte d'emploi, de revenu

Source : Combet, E., Ghersi, F., Hourcade, J. C., Thubin, C. (2010), « La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité », Revue française d'économie, vol. XXV, p. 59-91

2) Le second dispositif restitue à l'ensemble des ménages les montants prélevés, toujours sous forme de crédit d'impôt, mais seulement sur un niveau de consommation de base d'énergie (par exemple le transport domicile-travail moyen). L'enveloppe allouée au financement des transferts forfaitaires correspond dans ce cas à 16,3 % des recettes de la taxe carbone (enveloppe restreinte, sans ciblage).

- 3) Le dernier dispositif limite ce crédit d'impôt aux besoins de base en énergie (par exemple consommation moyenne pour la moyenne des déplacements domicile-travail), au bénéfice de tous les ménages (sauf les 20 % les plus aisés). Il ajoute des mesures complémentaires pour les ménages qui cumulent contraintes économiques et manque d'accès aux alternatives aux énergies fossiles : mise à disposition accélérée d'équipements efficaces (bâtiment, chauffage, électroménager), décotes sur le prix des transports publics, etc. 24 % des recettes de la taxe sont utilisées pour financer les transferts (enveloppe restreinte, avec ciblage).

Dans l'ensemble, les coûts de production et l'inflation augmentent avec l'enveloppe de la redistribution directe (de -0,3 % pour le crédit d'impôt non ciblé à +0,8 % pour le premier dispositif), dont le pendant est une baisse de l'enveloppe consacrée aux allègements de cotisations. La substitution aux cotisations sociales est meilleure pour les coûts de production, l'activité, les revenus, la compétitivité et l'emploi, mais elle augmente les inégalités. À l'inverse, la restitution forfaitaire aux ménages réduit fortement les inégalités entre les groupes de revenus (-5 %), mais au prix d'une hausse des coûts de production (+4 %). Une telle redistribution est coûteuse au final, car l'effet négatif sur les revenus est plus important que l'effet positif de la compensation directe.

Au final, au regard des principaux indicateurs (PIB, emploi, pauvreté, inégalités), les performances macroéconomiques et distributives sont donc meilleures pour les dispositifs « hybrides » qui limitent et ciblent les transferts directs et qui bloquent la hausse des coûts de production, dans le respect de la contrainte de neutralité budgétaire.

Toutefois, les schémas de compensations directes par des montants uniformes ou conditionnés uniquement par le revenu ne permettent pas d'éviter une hausse des inégalités « horizontales », en ciblant insuffisamment les plus dépendants aux énergies fossiles, sans alternatives à court terme.

Ravné et al. (2022) : prix du carbone, diffusion du progrès technique et investissement « vert »

Ravné *et al.* (2022)¹ élargissent l'analyse en combinant les effets redistributifs du prix du carbone et les effets de schémas de diffusion du progrès technique et de l'investissement « vert » dans la population et des subventions à son adoption (rénovation et construction des logements et diffusion des véhicules électriques). Ils mobilisent pour cela une architecture de simulation « macro-micro » qui organise une itération entre un modèle macroéconomique et un modèle de microsimulation. Ils analysent les effets redistributifs du scénario de la 2^e stratégie nationale bas carbone

¹ Ravné E., Ghersi F. et Nadaud F. (2022), « [Is a fair energy transition possible? Evidence from the French Low-Carbon Strategy](#). *Ecological Economics* », *Ecological Economics*, vol. 196, juin.

(2019), et comparent ainsi le renforcement de l'ambition (neutralité carbone en 2050) par rapport au « Facteur 4 » (F4, division par 4 en 2050 des émissions de GES par rapport à 1990)¹.

L'effet négatif sur les inégalités du renforcement du prix du carbone nécessaire pour viser la neutralité carbone surpasse l'effet positif de la hausse des subventions aux véhicules électriques et aux rénovations thermiques². L'indice d'inégalité de Gini est supérieur de 2 % dans le scénario de neutralité carbone par rapport au scénario F4 en 2025 et de + 4,2 % en 2030 et 2035. Ce sont surtout les prélèvements induits par la taxe carbone qui sont six fois plus importants dans ce scénario, ce qui correspond à une part du revenu des plus modestes plus importante : en 2035, les 10 % les plus pauvres (D1) consacrent en moyenne 2,3 % de leur revenu disponible au paiement de la taxe carbone, contre 1,2 % pour le 9^e décile. Les subventions à la rénovation (30 milliards cumulés sur la période 2026-2035), et le bonus pour l'achat de véhicule électrique (de l'ordre de 5 000 euros) n'ont qu'un effet de second ordre sur les inégalités de revenu, tout en permettant de baisser les factures énergétiques des ménages. Les subventions à l'achat de véhicules électriques et moins polluants bénéficient surtout aux classes moyennes (D4-D7) et leur permettent de payer jusqu'à 16 % de moins de taxe carbone. Les subventions à la rénovation réduisent les montants de taxe carbone acquittés par les plus riches et par les ménages résidant dans les grandes agglomérations de 2 % au maximum. Au final, les subventions, lorsqu'elles cherchent à maximiser la réduction des émissions, favorisent davantage les ménages aisés et creusent l'écart avec les plus pauvres.

Les inégalités horizontales selon la densité d'aire urbaine où vivent les ménages sont également accrues par le prix du carbone. En 2035, les ménages ruraux paient plus que les autres ménages (en proportion de leurs revenus), et encore plus dans le scénario de neutralité carbone (de +9,7 % à +61,1 %) que dans le scénario F4 (de +3,9 % à 53,4 %)³.

¹ La modélisation prend comme exogène les objectifs découlant de la SNBC, en termes de nombre de véhicules électriques achetés et de m² rénovés par année. Le paramétrage des subventions est également fixé comme dans la SNBC : prise en charge publique de 11,5 % des coûts totaux de rénovation (incluant main d'œuvre) et un bonus à l'achat de véhicule électrique d'au moins 5 000 euros. L'enveloppe totale de subventions est donc prédéterminée. Enfin, la décision de rénovation ou d'achat est exogène au ménage et le « choix » des ménages qui rénovent/changent de véhicules (et donc la répartition des subventions entre ménages) varie selon les scénarios : ciblage des ménages les plus/moins/médian consommateurs d'énergie. Des travaux complémentaires sont en cours pour étoffer le design de ces subventions, et notamment mieux les cibler en fonction du niveau de revenu par exemple.

² Le scénario Facteur 4 retient les mesures décidées à la date du 1^{er} juillet 2017 : les aides à la rénovation (CITE à l'époque) s'interrompent en 2019, et le bonus véhicule électrique n'est prolongé que jusqu'en 2023. Dans le scénario « neutralité », ces aides sont prolongées jusqu'en 2035.

³ Dans le scénario de neutralité carbone, les ménages ruraux consacrent à la taxe carbone une part de leurs revenus plus élevée (+ 9,7%) que celle des ménages des villes de moins de 5 000 habitants, et que celle des

Avec ou sans hausse de subventions aux véhicules électriques et à la rénovation thermique, la diffusion du progrès technique et de l'investissement vert peut toutefois réduire des inégalités horizontales. Concentrer l'adoption des véhicules électriques ou les rénovations thermiques sur les ménages énergivores favorisent les ménages ruraux par rapport au reste de la population, réduisant ainsi l'écart de facture carbone entre zones rurales et urbaines. Par exemple, lorsque ce sont d'abord les gros consommateurs qui rénovent et s'équipent de véhicules électriques, les classes moyennes (D4-D7) en zones rurales paient en moyenne une facture carbone seulement 22 % plus élevée que dans une grande ville¹, alors que, lorsque le progrès technique est adopté par de petits consommateurs, les classes moyennes rurales paient 58 % de plus que dans une grande ville. Les plus gros consommateurs sont en effet davantage concentrés en zones rurales. De même, les ménages des régions froides (le nord, l'ouest et l'est) ne sont pas plus impactés en termes de facture carbone à la condition que les rénovations thermiques soient réalisées par les gros consommateurs, également plus présents dans ces régions.

Qu'il s'agisse des inégalités verticales ou horizontales, c'est la répartition de l'adoption des solutions bas carbone qui est plus importante que le montant des subventions. 69 % des ménages dont les dépenses de taxe carbone baissent entre 2030 et 2035 ont acquis un véhicule électrique, rénové ou acquis un logement plus efficace énergétiquement. Lorsque les adoptions permettent un maximum d'économie d'énergie et de baisse d'émissions (les gros consommateurs les adoptent prioritairement), les 20 % plus riches réduisent plus leurs montants de taxe carbone (- 7,5 % en ruralité, - 25,6 % en grandes villes) que les 30 % les moins aisés (- 18,8 % et - 7,1 %). En revanche, un ciblage efficace du changement technique vers les ménages les plus gros consommateurs réduit les disparités énergétiques territoriales. Le scénario F4 avec ciblage efficace réduit l'écart qui existe entre la facture carbone d'un ménage rural et d'un ménage urbain par rapport au scénario de neutralité carbone qui propose des subventions plus importantes mais avec un ciblage moins efficace. Dans le cas où l'adoption est ciblée sur les gros et moyens consommateurs, la facture carbone moyenne des ménages diminue après 2030 bien que le prix du carbone continue à augmenter ; en revanche, la facture carbone continue à augmenter entre 2030 et 2035 dans l'hypothèse où ce sont davantage de petits consommateurs qui adoptent les véhicules électriques ou effectuent des rénovations thermiques. Ce résultat illustre l'importance première de la répartition des

habitants de Paris (+ 61,1 %). Dans le scénario Facteur 4, cette part pour les ménages ruraux est 5,2 % plus élevée que celle des habitants des villes de moins de 5 000 habitants, 3,9 % plus élevée que dans les villes de 5 000-10 000 habitants, et 53,4 % plus élevée que la part des ménages parisiens. Ces chiffres sont obtenus sous l'hypothèse que les achats de véhicules électriques et les rénovations thermiques sont concentrés sur les plus gros consommateurs d'énergie.

¹ Le contrefactuel est constitué des classes moyennes appartenant aux déciles D4-D7, à même niveau de revenus, dans les grandes villes de plus de 100 000 habitants incluant Paris.

mesures d'adoption, plus que du volume de subventions qui, si elles sont allouées aux petits consommateurs, seront moins efficaces, ce qui augmente la facture carbone.

La diffusion des technologies bas-carbone et l'augmentation de l'enveloppe des subventions pour soutenir leur adoption n'apparaissent pas comme des solutions de compensation suffisante des effets du prix du carbone à court terme. Leur adoption ne diminue significativement les dépenses énergétiques qu'entre 2030 et 2035. Par ailleurs, leur efficacité demande de réduire prioritairement les grosses consommations d'énergie. Mais cela bénéficie moins aux petits consommateurs à plus faibles revenus qu'aux classes moyennes et aux plus riches, ce qui augmente le caractère régressif du profil de taxe carbone. Les auteurs réaffirment la complémentarité des subventions aux mesures temporaires de compensation à court terme des ménages vulnérables. Ils simulent quatre modalités de redistribution forfaitaire de la taxe dont les ménages s'acquittent (enveloppe fixe, contrairement à Combet *et al.*, 2010¹). Le ciblage varie entre : un même montant par unité de consommation pour tous ; un montant qui compense 95 % des ménages du 1^{er} décile de revenu puis qui décroît jusqu'au 9^e décile ; un montant qui compense 95 % des ruraux puis qui décroît avec la densité du lieu de vie ; et un montant proportionnel au niveau de vie, neutre du point de vue de la dispersion des revenus. Comme le reste de la littérature, ces dispositifs offrent de bonnes marges de manœuvre de redistribution, mais ceux qui ne redistribuent que selon le revenu ne permettent pas de régler le problème des inégalités horizontales et sont plus coûteux en termes d'efficacité : les auteurs estiment un effet rebond des émissions directes d'environ +3 %.

Petiteville *et al.* (2023) : l'analyse redistributive des scénarios Ademe

Enfin, Petiteville *et al.* (2023)² proposent une comparaison des conséquences redistributives des différents scénarios de neutralité carbone de l'Ademe (« Transition(s) 2050 » – voir Encadré A1). Ils désagrègent eux aussi les résultats des simulations réalisées à l'aide du modèle macroéconomique ThreeME, mais sans itération (« top down »). Ce travail complète les enseignements précédents en comparant plusieurs options stratégiques de combinaison des leviers de décarbonation.

L'évolution des inégalités de revenu dépend moins du choix d'un scénario de transition énergétique que des hypothèses plus générales sur la distribution primaire et secondaire des revenus. L'indice d'inégalité de Gini évolue légèrement à la hausse, dans un intervalle étroit [0,34 – 0,35] en 2030 et [0,35 – 0,36] en 2050 selon les scénarios, y compris le scénario tendanciel qui n'atteint pas la neutralité carbone. La légère

¹ Combet E. *et al.* (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *op. cit.*

² Petiteville M. *et al.* (à paraître), *Les inégalités entre ménages dans la transition. Une analyse prospective des effets distributifs dans les scénarios Transition(s) 2050*, rapport Ademe.

augmentation des inégalités tient à la croissance relativement plus importante des revenus d'activité et du capital qui sont répartis de façon plus inégalitaire que les autres sources de revenus. Elle n'est pas contrecarrée par la redistribution égalitaire des montants de taxe carbone qui est prise comme hypothèse dans l'ensemble de ces scénarios. Mais ces variations restent dans l'intervalle historique des trente dernières années [0,30 – 0,37]. Ce résultat souligne la plus grande importance, pour les inégalités globales, du partage primaire des revenus et des emplois, simultanément, mais largement transversal, à la transition énergétique.

Encadré A1 – Les scénarios de l'Ademe¹

L'Ademe a souhaité soumettre au débat quatre chemins « types » cohérents qui présentent de manière volontairement contrastée des options économiques, techniques et de société pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Imaginés pour la France métropolitaine, ils reposent sur les mêmes données macroéconomiques, démographiques et d'évolution climatique (+2,1 °C en 2100). Cependant, ils empruntent des voies distinctes et correspondent à des choix de société différents.

Scénario 1 : Génération frugale. Ce scénario privilégie des transformations importantes dans les façons de se déplacer, de se chauffer, de s'alimenter ou encore d'acheter afin d'atteindre la neutralité carbone sans impliquer de technologies de captage et stockage de carbone, qui restent non éprouvées et incertaines à grande échelle.

Scénario 2 : Coopérations territoriales. Ce scénario vise la neutralité carbone à travers l'évolution progressive du système économique vers une voie durable alliant sobriété et efficacité. Il s'appuie sur une transformation de la société dans le cadre d'une gouvernance partagée et de coopérations territoriales.

Scénario 3 : Technologies vertes. Ce troisième scénario s'appuie sur le développement technologique pour répondre aux défis environnementaux plutôt que sur les changements de comportements vers plus de sobriété.

Scénario 4 : Pari réparateur. Le quatrième scénario mise sur la capacité de la société à gérer, voire à réparer les systèmes sociaux et écologiques avec plus de ressources matérielles et financières.

¹ Ademe (2021), *Transition(s) 2050...*, op. cit.

Pour l'ensemble des scénarios de transition, les parts budgétaires énergétiques restent inégalement réparties entre groupes de revenus ou groupes de densité de lieu de vie. Mais elles diminuent malgré la hausse des prix des énergies fossiles, en raison de la baisse importante des consommations d'énergie et de la croissance des revenus¹. En 2030, les scénarios les plus sobres S1 et S2 réduisent la part budgétaire moyenne à 6 % environ, contre 8,2 % pour le tendanciel et 7 % pour les scénarios S3 et S4 les moins sobres (7,9 % en 2017). S2 combine la plus forte hausse des revenus avec la plus forte baisse des consommations d'énergie. Les disparités de parts budgétaires énergétiques observées aujourd'hui entre les 10 % les plus riches et les 10 % les plus pauvres se maintiennent, même si elles sont légèrement plus faibles dans les scénarios les plus sobres (+5 points pour S1 le plus sobre contre +6,3 points pour le scénario S4 le plus énergivore). La part budgétaire de l'énergie des urbains reste également plus faible que celle des ruraux (3 % contre 7 % en 2030, 1,2 % contre 2,8 % en 2050). Mais si les inégalités persistent, le poids moyen de la facture énergétique dans le budget des ménages est très réduit.

Ces baisses en moyenne proportionnelles pour chaque groupe de revenus et de densité de lieu de vie masquent toutefois des inégalités notables de situations énergétiques et l'émergence de nouvelles vulnérabilités. En 2017, près de 30 % des ménages du premier décile dépassaient le seuil de 10 % du budget alloué à l'énergie. En 2030, dans les scénarios S3 et S4 les moins sobres, c'est près de 40 % qui se trouvent dans cette situation, tandis que cette proportion est moindre dans S1 et S2 (22 % et 32 %). Il existe un risque majeur de hausse de la précarité énergétique dans les scénarios les moins sobres, mais également un risque de hausse de privation pour les besoins essentiels en énergie dans les scénarios très sobres comme S1. Cela s'explique par des rénovations énergétiques des logements moins nombreuses dans S3 et S4 (34 % et 28 % contre 50 % environ pour S1 et S2) et qui sont davantage mises en œuvre par les classes supérieures. La diffusion des nouveaux véhicules est plus rapide et plus importante, ce qui explique que la diffusion des gains d'efficacité énergétique est moins inégalitaire dans le transport. Les efforts de sobriété sur les distances parcourues en véhicule sont aussi inégalement répartis, avec une sensibilité plus grande aux prix des plus modestes et des effets rebonds moins marqués dans S1 et S2. Des inégalités nouvelles, spécifiques aux différentes stratégies, sont donc constatées², entre ceux qui

¹ La croissance des revenus dans les modélisations macroéconomiques et les simulations réalisées à l'aide du modèle ThreeME est avant tout déterminée par les hypothèses de croissance naturelle (population active et gains généraux de productivité du travail). La croissance à moyen et long terme est impacté par les scénarios de transition mais relativement à la marge. Voir Callon G., Gouédard H. et Jolivet P. (2022), *Transition(s) 2050. Feuilleton « Les effets macroéconomiques »*, Ademe, mars.

² Comme précédemment, le volume global des investissements à réaliser (nombre de véhicules électriques achetés ou m² habitables rénovés) est exogène, issu des simulations macroéconomiques réalisées avec ThreeME, et désagrégé ensuite entre catégories de ménages selon le paramétrage choisi.

rénovent et adoptent de nouveaux véhicules et ceux qui n'ont pas encore accès à ces progrès techniques et qui doivent réaliser des efforts de baisse de consommation plus importants.

Comme Ravigné *et al.* (2022)¹, ce travail souligne que les modalités de diffusion du progrès technique dans la population seront un facteur important de l'évolution des inégalités énergétiques futures. La diffusion des rénovations et des constructions neuves joue un rôle particulièrement important à moyen terme car l'inégalité d'accès à ce progrès technique est plus importante. L'amélioration du logement est plus coûteuse et moins rapide que la diffusion des nouveaux véhicules. Comme les plus gros consommateurs et les plus solvables rénovent d'abord², les consommations d'énergies dans les logements s'homogénéisent. Alors qu'en 2017 les 10 % les plus riches consommaient environ deux fois plus d'énergie que les 10 % les plus pauvres, leurs consommations deviennent quasiment identiques en 2030, à des niveaux qui diffèrent selon les scénarios sobres et moins sobres. Dans S1 où le nombre de rénovations énergétiques globales est le plus important, parmi les 30 % des ménages les plus aisés, 35 % gagnent trois classes DPE, contre seulement 12 % pour les 30 % les plus modestes. En conséquence, les 30 % les plus aisés consomment entre 25 % (S4) et 45 % (S1) de moins que les 30 % les plus modestes à surface égale, alors qu'en 2017 la consommation à surface égale était quasiment identique. Les écarts de consommation entre ruraux et urbains sont aussi réduits mais encore présents en 2030. Comme Ravigné *et al.* (2022)³, ce résultat illustre l'existence d'un dilemme entre équité et efficacité dans l'adoption des gains du progrès technique : l'objectif d'efficacité demande de rénover en priorité les logements présentant les niveaux de consommation les plus importants, mais cela veut aussi dire ne pas prioriser les ménages qui ont des consommations plus basses mais sont plus contraints économiquement. Le scénario S1 réduit la force de ce dilemme, par rapport aux scénarios S3 et S4, en amplifiant la vitesse et le nombre des rénovations globales.

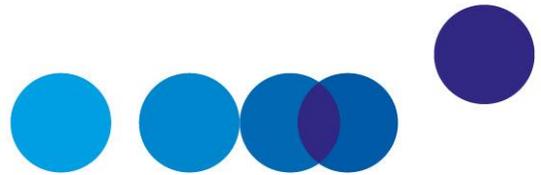
Ces travaux soulignent l'importance de développer les analyses macro-micro des scénarios de transition. Ils montrent que des effets indirects en équilibre général sont d'un ordre de grandeur comparable aux effets directs en équilibre partiel sur les ménages. Il s'agit en particulier des effets d'incidence du prix du carbone dans l'économie via les coûts de production, le changement structurel, la diffusion du progrès technique, les revenus et les emplois. Il s'agit aussi de l'incidence des politiques d'accompagnement et des mesures budgétaires et sociofiscales mises en œuvre simultanément, et dont il faut bien prendre en compte le coût dans l'évaluation des effets nets macroéconomiques et distributifs.

¹ Ravigné E. *et al.* (2022), « [Is a fair energy transition possible?](#) », *op. cit.*

² Les subventions sont incluses dans le prix de la rénovation/construction/achat de véhicule et sont appelées ensuite en fonction de la solvabilité du ménage. Dans les scénarios Ademe Transition(s) 2050, Il n'y a pas eu de simulations réalisées avec des ciblage spécifiques des subventions sur certaines catégories de ménages.

³ Ravigné E. *et al.* (2022), « [Is a fair energy transition possible?](#) », *op. cit.*

Ces travaux montrent également que les effets distributifs entre ménages peuvent dans certains cas impacter en retour l'efficacité macroéconomique et environnementale des stratégies. L'intégration de ces différents effets dans des modélisations cohérentes est utile pour clarifier les tensions, les synergies et les arbitrages entre objectifs d'efficacité environnementale, d'efficacité macroéconomique et d'équité. Mais aussi éclairer les orientations de politiques publiques permettant d'obtenir les meilleures performances globales et les dispositifs d'accompagnement visant à atténuer les tensions économiques et sociales dans la période de transition. Pour renforcer l'analyse de ces effets, les modélisations peuvent être améliorées dans des dimensions encore peu décrites : la distribution des revenus et des emplois des secteurs déclinants et émergents (effets distributifs du changement structurel), la distribution des effets financiers au-delà de l'investissement direct des ménages dans les technologies bas carbone (effets distributifs de la dévalorisation et valorisation des actifs, échoués et verts), l'analyse des contraintes et des effets sur les dimensions importantes d'inégalités horizontales (effets distributifs entre catégories socioprofessionnelles, actifs et inactifs, localisations fines, etc.).



ANNEXE 3

QUELLES MÉTHODES POUR INTÉGRER DES MÉNAGES HÉTÉROGÈNES DANS LA MODÉLISATION MACROÉCONOMIQUE ?

L'évaluation des conséquences distributives de politiques publiques repose nécessairement sur l'exploitation de données d'enquête ménages.

Un premier niveau d'analyse, statistique, consiste à mesurer les coûts et bénéfices supportés par chaque ménage du panel enquêté toutes choses égales par ailleurs. On calcule ainsi l'impact des politiques publiques analysées sur chacun des postes de consommation et des sources de revenus de chacun des ménages (Isaksen et Narbel, 2017¹ ; Pottier *et al.*, 2020² ; Petiteville *et al.*, 2023³). Les résultats de l'analyse sont obtenus sous la forme de coûts et bénéfices absolus ou relatifs au niveau de revenu ou au niveau de vie (revenu par unité de consommation), que l'on peut moyenner, avec prise en compte de poids de représentativité spécifiques à chaque ménage (fournis par l'enquête), pour des classes nationales de ménages définies selon des variables d'intérêt – le plus souvent le niveau de vie, mais aussi, potentiellement, selon d'autres variables d'intérêt dites « horizontales » tels la densité de zone d'habitation (bon indicateur de l'intensité en énergie directe des modes de vie), le type de logement, l'équipement, etc.⁴

¹ Isaksen E. T. et Narbel P. A. (2017), « [A carbon footprint proportional to expenditure – A case for Norway?](#) », *Ecological Economics*, vol. 131, p. 152-165.

² Pottier A., Combet E., Cayla J.-M., de Lauretis S. et Nadaud F. (2020), « [Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 169(5), p. 73-132.

³ Petiteville M. *et al.* (à paraître), *Les inégalités entre ménages dans la transition. Une analyse prospective des effets distributifs dans les scénarios Transition(s) 2050*, rapport de l'Ademe.

⁴ La liste des variables selon lesquelles on peut regrouper les ménages n'est limitée que par l'étendue des séries disponibles dans l'enquête exploitée, que l'on peut en outre croiser à l'envi.

Un second niveau d'analyse ajoute une dimension microéconomique à l'exercice. La structure de consommation des ménages est supposée réagir aux variations de prix relatifs induites par les politiques publiques analysées (Berry, 2019¹ ; Douenne, 2020² ; Ravigné & Nadaud, 2023³). L'ensemble de ces réactions découlent d'une fonction d'utilité qui suppose une maximisation de bien-être, indicateur supplémentaire, lorsque la fonction n'est pas implicite, de l'effet agrégé des politiques testées — le plus (sinon le seul) légitime du point de vue du microéconomiste. L'utilité peut être approximée, notamment par un niveau de confort, par exemple thermique (Bourgeois *et al.*, 2021⁴).

Un troisième niveau d'analyse insère la microéconomie dans un cadre plus large qui vise à capturer certaines des interactions des politiques testées avec l'ensemble du système productif, notamment les variations indirectes de prix relatifs induites, estimées par le recours à des analyses entrées-sorties (propagation des variations de prix directes telles celles des prix de l'énergie dans la matrice intersectorielle jusqu'à l'équilibre) (Moz-Christofoletti et Pereda⁵, 2021 ; Symons *et al.*, 2002⁶). De la même façon, certaines études modélisent, du côté des ressources, les conséquences des politiques étudiées sur les revenus du travail et du capital et éventuellement sur différents revenus de transfert selon le niveau de désagrégation du modèle macroéconomique utilisé (Buddelmeyer *et al.*, 2012⁷ ; Feindt *et al.*, 2021⁸ ; Mayer *et al.*, 2021⁹ ; Vandyck et Van Regemorter, 2014).

Un quatrième et dernier niveau d'analyse tente de capturer la totalité des effets indirects induits par les nouveaux choix de consommation en mettant en œuvre des modélisations

¹ Berry A. (2019), « [The distributional effects of a carbon tax and its impact on fuel poverty: A microsimulation study in the French context](#) », *Energy Policy*, vol. 124(C), p. 81-94.

² Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41(3), juillet.

³ Ravigné E. et Nadaud F. (2023), « [Can a carbon tax increase emissions? The backfire effect of carbon tax recycling](#) », Cired Working Paper, n° WP-2023-89.

⁴ Bourgeois C., Giraudet L.-G. et Quirion P. (2021), « [Lump-sum vs. energy-efficiency subsidy recycling of carbon tax revenue in the residential sector: A French assessment](#) », *Ecological Economics*, vol. 184.

⁵ Moz-Christofoletti M. A. et Pereda P. C. (2021), « [Winners and losers: The distributional impacts of a carbon tax in Brazil](#) », *Ecological Economics*, vol. 183.

⁶ Symons E. J., Speck S. et Proops J. L. R. (2002), « [The distributional effects of carbon and energy taxes: The cases of France. The cases of Spain, Italy, Germany and UK](#) », *European Environment*, vol. 12(4), p. 203-212.

⁷ Buddelmeyer H., Hérault N., Kalb G. et van Zijll de Jong M. (2012), « [Linking a microsimulation model to a dynamic CGE model: Climate change mitigation policies and income distribution in Australia](#) », *International Journal of Microsimulation*, vol. 5(2), p. 40-58.

⁸ Feindt S., Kornek U., Labeaga J. M., Sterner T. et Ward H. (2021), « [Understanding regressivity: Challenges and opportunities of European carbon pricing](#) », *Energy Economics*, vol. 103.

⁹ Mayer J., Dugan A., Bachner G. et Steininger K. W. (2021), « [Is carbon pricing regressive? Insights from a recursive-dynamic CGE analysis with heterogeneous households for Austria](#) », *Energy Economics*, vol. 104.

macroéconomiques. Une majorité des études opérant à ce niveau ne travaillent pas directement sur les données d'enquête, mais les utilisent comme données de calibrage de classes de ménages – dans la plupart des cas, de classes de niveau de vie – qui désagrègent le « ménage représentatif » usuel des modèles macroéconomiques (Beck *et al.*, 2015¹ ; Combet *et al.*, 2010²). La distribution des coûts et bénéfices n'est alors calculée que pour des agrégats prédéfinis composés de ménages dont l'hétérogénéité des situations au sein de ces groupes n'est plus capturée. Cependant, elle prend en compte les effets en retour de l'ensemble des marchés de biens et de facteurs, notamment du travail, et éventuellement différents revenus de transfert selon le niveau de désagrégation du modèle macroéconomique utilisé (Cronin *et al.*, 2019³ ; Combet *et al.*, 2010⁴). Quelques rares études, dites « macro-micro », travaillent directement sur les consommations et les revenus des ménages enquêtés. Elles présentent l'avantage de conserver une modélisation explicite de l'ensemble des ménages de l'enquête utilisée, donc de permettre le calcul de distributions de coûts et bénéfices sur toute classification de ménages définissable *ex post*, une fois les simulations effectuées. Ces simulations macro-micro peuvent être *top-down* (Petiteville *et al.*, 2023⁵) ou bien par itération parvenir à une convergence entre les simulations micro et macroéconomiques. Ces dernières portent davantage sur la pauvreté (voir par exemple Cogneau et Robilliard, 2007⁶ ; Decaluwé *et al.*, 1999⁷) que sur les politiques climatiques, pour lesquelles on ne relève que deux applications (Rausch *et al.*, 2011⁸ ; Ravigné *et al.*, 2022⁹)¹⁰.

¹ Beck M., Rivers N., Wigle R. et Yonezawa H. (2015), « [Carbon tax and revenue recycling: Impacts on households in British Columbia](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 41, p. 40-69.

² Combet E., Gherzi F., Hourcade J.-C. et Thubin C. (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *Revue française d'économie*, vol. XXV, p. 59-91.

³ Cronin J. A., Fullerton D. et Sexton S. (2019), « [Vertical and Horizontal Redistributions from a Carbon Tax and Rebate](#) », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 6(S1), p. 169-208.

⁴ Combet E. *et al.* (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *op. cit.*

⁵ Petiteville M. *et al.* (à paraître), *Les inégalités entre ménages dans la transition*, *op. cit.*

⁶ Cogneau D. et Robilliard A.-S. (2007), « Growth, distribution and poverty in Madagascar: Learning from a microsimulation model in a general equilibrium framework », in Spadaro A. (dir.), *Microsimulation as a Tool for the Evaluation of Public Policies: Methods and Applications*, Bilbao, Fundacion BBVA, p. 73-114.

⁷ Decaluwé B., Dumont J.-C. et Savard L. (1999), « How to measure poverty and inequality in general equilibrium framework », université de Laval, CREFA Working Paper, 9920.

⁸ Rausch S., Metcalf G. E. et Reilly J. M. (2011), « [Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households](#) », *Energy Economics*, vol. 33, p. S20-S33.

⁹ Ravigné E., Gherzi F. et Nadaud F. (2022), « [Is a fair energy transition possible? Evidence from the French low-carbon strategy](#) », *Ecological Economics*, vol. 196.

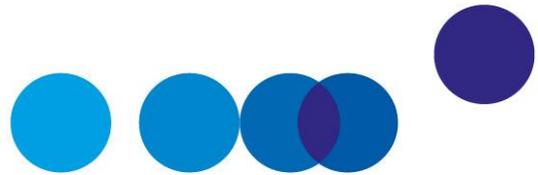
¹⁰ Bourguignon *et al.* (2010) proposent un panorama des différentes méthodologies liant des modèles macroéconomiques et des microsimulations. Bourguignon F., Bussolo M. et Cockburn J. (2010), « [Guest](#)

Enfin, l'horizon temporel des analyses est fortement dépendant des données d'enquête utilisées. Beaucoup d'études ressortant des deux premiers niveaux d'analyse proposent ainsi des exercices de statique comparative sur les données d'enquête brutes, donc produisent des résultats contrefactuels concernant les années de réalisation des enquêtes. Certaines études, « cependant », projettent les données d'enquête afin de développer des analyses prospectives. C'est plus facilement le cas des modèles macroéconomiques à classes de ménages, où l'agrégation en classes des ménages d'enquête induit un certain niveau d'abstraction propice à la prospective. Les modélisations « macro-micro » qui font l'effort de conserver l'ensemble des données d'enquête sont plus généralement statiques, à de rares exceptions près (Buddelmeyer *et al.*, 2012¹ ; Ravigné *et al.*, 2022²).

editorial [macro-micro analytics: Background, motivation, advantages and remaining challenges](#) », *International Journal of Microsimulation*, vol. 3(1), p. 1-7.

¹ Buddelmeyer H. *et al.* (2012), « [Linking a microsimulation model to a dynamic CGE model...](#) », *op. cit.*

² Ravigné E., Gherzi F., et Nadaud, F. (2022), « [Is a fair energy transition possible? Evidence from the French low-carbon strategy](#) », *Ecological Economics*, vol. 196.



BIBLIOGRAPHIE

- Accardo J. et Billot S. (2020), « [Plus d'épargne chez les plus aisés, plus de dépenses contraintes chez les plus modestes](#) », *Insee Première*, n° 1815, septembre.
- Ademe (2022), *Condition de reprise d'une valeur équitable du carbone*, juillet.
- André M., Bourgeois A., Combet E., Lequien M. et Pottier A. (à paraître), « Measurement challenges to distribute the carbon footprint to households », *Document de travail*, Insee.
- André M., Arnold C. et Meslin O. (2021), « 24 % des ménages détiennent 68 % des logements possédés par des particuliers », in *France. Portrait social*, coll. « Insee Références », p. 91-104.
- Baratgin L. et Combet E. (2022), « [Quelques pistes pour concilier des objectifs sociaux, économiques et écologiques](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 176, p. 121-146.
- Barrett J., Peters G., Wiedmann T., Scott K., Lenzen, M., Roelich K. et Le Quere C. (2013), « [Consumption-based GHG emission accounting: a UK case study](#) », *Climate Policy*, vol. 13, p. 451-470.
- Baudelot C. et Establet R. (1994), *Maurice Halbwachs. Consommation et Société*, Paris, Puf, coll. « Philosophies ».
- Beck M., Rivers N., Wigle R. et Yonezawa H. (2015), « [Carbon tax and revenue recycling: Impacts on households in British Columbia](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 41, p. 40-69.
- Berry A. (2019), « [The distributional effects of a carbon tax and its impact on fuel poverty: A microsimulation study in the French context](#) », *Energy Policy*, vol. 124(C), p. 81-94.
- Berry A. (2019), « [Compensating households from carbon tax regressivity and fuel poverty: A microsimulation study](#) », Working Paper.
- Biotteau A.-L. et Fontaine M. (2017), « [Effet d'un choc d'inflation sur le revenu disponible et ses composantes deux ans après : une approche par microsimulation](#) », *Document de travail*, Insee.
- Blanchard O., Gollier C. et Tirole J. (2022), « [The portfolio of economic policies needed to fight climate change](#) », PIIÉ, Working Paper, novembre.
- Bourdieu P. (1993), *La Misère du monde*, Paris, Le Seuil.

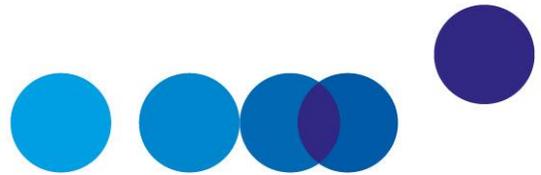
- Bourdieu P. (1979), *La Distinction*, Paris, Les Éditions de Minuit.
- Bourgeois A., Gervois F. et Lafrogne-Joussier R. (à paraître), « Forces et faiblesses des tableaux internationaux entrées-sorties pour le calcul de l’empreinte carbone », *Document de travail*, Insee.
- Bourgeois C., Giraudet L.-G. et Quirion P. (2021), « [Lump-sum vs. energy-efficiency subsidy recycling of carbon tax revenue in the residential sector: A French assessment](#) », *Ecological Economics*, vol. 184.
- Bourgeois A. et Lafrogne-Joussier R. (2022), « [La flambée des prix de l’énergie : un effet sur l’inflation réduit de moitié par le “bouclier tarifaire”](#) », *Insee Analyses*, n° 75, septembre.
- Bourguignon F., Bussolo M. et Cockburn J. (2010), « [Guest editorial macro-micro analytics: Background, motivation, advantages and remaining challenges](#) », *International Journal of Microsimulation*, vol. 3(1), p. 1-7.
- Buddelmeyer H., Hérault N., Kalb G. et van Zijll de Jong M. (2012), « [Linking a microsimulation model to a dynamic CGE model: Climate change mitigation policies and income distribution in Australia](#) », *International Journal of Microsimulation*, vol. 5(2), p. 40-58.
- Callonnec G., Gouédard H. et Jolivet P. (2022), *Transition(s) 2050. Feuilleton « Les effets macroéconomiques »*, Ademe, mars.
- Callonnec G. et Combaud M. (2019), *Les effets macroéconomiques et environnementaux de la fiscalité carbone*, rapport particulier n° 4 annexé au rapport de la Cour des comptes (2019), *La fiscalité environnementale au défi de l’urgence climatique*, septembre.
- Cameron L. et van der Zwaan B. (2015), « Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, mai, p. 160-172.
- Cazenave-Lacrouts M.-C., Cheloukdo P. et Hubert O. (2022), « [La composition du patrimoine des ménages évolue peu à la suite de crises sanitaire](#) », *Insee Première*, n° 1899, mai.
- Chancel L. (2022), « [Global carbon inequality over 1990-2019](#) », *Nature Sustainability*, vol. 5, p. 931-938.
- Chancel L. et Piketty T. (2015), *Carbon and inequality: From Kyoto to Paris*, Paris School of Economics.
- Chiroleu-Assouline M. (2022), « [Rendre acceptable la nécessaire taxation du carbone quelles pistes pour la France ?](#) », *Revue de l’OFCE*, vol. 176, p. 15-53.
- Cogneau D. et Robilliard A.-S. (2007), « Growth, distribution and poverty in Madagascar: Learning from a microsimulation model in a general equilibrium framework », in Spadaro A. (dir.), *Microsimulation as a Tool for the Evaluation of Public Policies: Methods and Applications*, Bilbao, Fundacion BBVA, p. 73-114.

- Combet E. (2013), *Fiscalité carbone et progrès social. Application au cas français*, thèse de doctorat, EHESS.
- Combet E., Gherzi F., Hourcade J.-C. et Thubin C. (2010), « [La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité](#) », *Revue française d'économie*, XXV, p. 59-91.
- Comby J.-B. (2015), « [À propos de la dépossession écologique des classes populaires](#) », *Savoir/Agir*, vol. 33, p. 23-30.
- Comby J.-B. et Grossetête M. (2012), « "Se montrer prévoyant" : une norme sociale diversement appropriée », *Sociologie*, 2012/3, vol. 3, p. 251-266.
- Conseil des prélèvements obligatoires (2019), *La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique*, septembre.
- Coulangéon P., Demoli Y., Ginsburger M. et Petev I. (2023), *La Conversion écologique des Français. Contradictions et clivages*, Paris, Puf.
- Cronin J. A., Fullerton D. et Sexton S. (2019), « [Vertical and Horizontal Redistributions from a Carbon Tax and Rebate](#) », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 6(S1), p. 169-208.
- Cusset P.-Y. (2023), « [Alimentation, logement, transport : sur qui l'inflation pèse-t-elle le plus ?](#) », *La Note d'analyse*, n° 119, France Stratégie, février.
- Cusset P.-Y. et Trannoy A. (2023), « [Restes à dépenser et territoires](#) », *La Note d'analyse*, n° 118, France Stratégie, février.
- Cusset P.-Y., Prada-Aranguren A.-G. et Trannoy A. (2021), « [Les dépenses pré-engagées : près d'un tiers des dépenses des ménages en 2017](#) », *La Note d'analyse*, n° 102, France Stratégie, août.
- Davis S. J., Peters G. P., et Caldeira K. (2011), « [The supply chain of CO₂ emissions](#) », National Academy of Sciences of the United States of America.
- Decaluwé B., Dumont J.-C. et Savard L. (1999), « How to measure poverty and inequality in general equilibrium framework », université de Laval, CREFA Working Paper, 9920.
- Demaison C., Grivet L., Maury-Duprey D. (2019), *France. Portrait social*, coll. « Insee Références ».
- Demoli Y. (2013), « [Les propriétés sociales des conducteurs de 4x4 : style de vie et rapport à l'espace](#) », Crest Working Paper.
- Demoli Y. et Lannoy P. (2019), « [Le grand écart de l'automobilisme contemporain : un incontournable terrain sociopolitique](#) », AOC, 8 mars.
- Demoli Y. et Lannoy P. (2019), *Sociologie de l'automobile*, Paris, La Découverte.
- Douenne T. (2020), « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: a case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41(3), juillet.

- Douenne T. et Fabre A. (2022), « [Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion](#) », *American Economic Journal-Economic Policy*, vol. 14(1), p. 81-110.
- Douillard P., Epaulard A. et Le Hir B. (2016), « [Modèles macroéconomiques et transition énergétique](#) », *La Note d'analyse*, n° 43, France Stratégie, février.
- Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. E. (2006), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, rapport technique, International Panel on Climate Change (IPCC).
- Feindt S., Kornek U., Labeaga J. M., Sterner T. et Ward H. (2021), « [Understanding regressivity: Challenges and opportunities of European carbon pricing](#) », *Energy Economics*, vol. 103.
- Goulder L.H., Hafstead M. A.C., Kim G. et Long X. (2019), « [Impacts of a carbon tax across US household income groups: What are the equity-efficiency trade-offs?](#) » *Journal of Public Economics*, vol. 175, p. 44-64.
- Halbwachs M. (1912), *La Classe ouvrière et les niveaux de vie*, Paris, Puf.
- Haut conseil pour le climat (2020), « [Maîtriser l'empreinte carbone de la France](#) », novembre.
- Hourcade J.-C. et Combet E. (2017), *Fiscalité carbone et finance climat. Un contrat social pour notre temps*, Paris, Les Petits matins.
- Isaksen E. T. et Narbel P. A. (2017), « [A carbon footprint proportional to expenditure – A case for Norway?](#) », *Ecological Economics*, vol. 131, p. 152-165.
- Jolly M. (2020), « [Les voitures des ménages modestes. Moins nombreuses mais plus anciennes](#) », *Théma Essentiel – Transport*, CGDD, décembre.
- Lafrogne-Joussier R., Martin J. et Méjean I. (2023), « [Cost pass-through and the rise of inflation](#) », *Document de travail*, Insee.
- Lalanne M. et Lapeyre N. (2009), « [L'engagement écologique au quotidien a-t-il un genre ?](#) », *Recherches féministes*, vol. 22(1), août.
- Lambert A. (2015), *Tous propriétaires ! L'Envers du décor pavillonnaire*, Paris, Le Seuil.
- Leontief W. (1970), « [Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach](#) », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52(3), p. 262-271.
- Le Hir B. et Bono P.-H. (2023), « [Dépenses de logement et de transport : quels arbitrages ?](#) », *La Note d'analyse*, n° 117, France Stratégie, février.
- Le Jeannic T. (1997), « [Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes](#) », *Économie et Statistiques*, vol. 307, p. 21-41.
- Lipnowski F. (1976), « [An input-output analysis of environmental preservation](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 3, p. 205-214.

- Malliet P. (2020), *La contribution des émissions importées à l’empreinte carbone de la France*, Sciences Po publications.
- Mayer J., Dugan A., Bachner G. et Steininger K. W. (2021), « *Is carbon pricing regressive? Insights from a recursive-dynamic CGE analysis with heterogeneous households for Austria* », *Energy Economics*, vol. 104.
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, *Enquête sur les pratiques environnementales des ménages 2016*, CGDD/SDES.
- Moran D. et Wood R. (2014), « *Convergence between the Eora, WIOD, EXIOBASE, and OpenEU’s consumption-based carbon accounts* », *Economic Systems Research*, vol. 26(3), p. 245-261.
- Moquay L. et Niay M. (2022), « *Prime à la conversion des véhicules : bilan économique et environnemental pour 2021* », *Théma Essentiel – Transport*, CGDD, septembre.
- Moussaoui I. (2007), « *De la société de consommation à la société de modération. Ce que les Français disent, pensent et font en matière de maîtrise de l’énergie* », *Les Annales de la recherche urbaine*, vol. 103, p. 112-119.
- Moz-Christofoletti M. A. et Pereda P. C. (2021), « *Winners and losers: The distributional impacts of a carbon tax in Brazil* », *Ecological Economics*, vol. 183.
- Pasquier J.-L. (2020), *Méthodologie de calcul de l’empreinte carbone de la demande finale intérieure française*, CGDD, janvier.
- Peters G. P. et Hertwich E. G. (2008), « *CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy* », *Environmental Science & Technology*, vol. 42, p. 1401-1407.
- Petiteville M. et al. (à paraître), *Les inégalités entre ménages dans la transition. Une analyse prospective des effets distributifs dans les scénarios Transition(s) 2050*, rapport Ademe.
- Pottier A. (2021), « *Expenditure-elasticity and income-elasticity of GHG emissions-a survey of literature on household carbon footprint* », *Ecological Economics*, vol. 192.
- Pottier A., Combet E., Cayla J.-M., de Lauretis S. et Nadaud F. (2020), « *Qui émet du CO₂ ? Panorama critique des inégalités écologiques en France* », *Revue de l’OFCE*, vol. 169(5), p. 73-132.
- Quirion P. (2022), « *TETE, un outil pour estimer les emplois générés par la transition écologique. Présentation et application au scénario négaWatt 2022* », *Revue de l’OFCE*, vol. 176, p. 329-346.
- Ravné E., Gherzi F. et Nadaud F. (2022), « *Is a fair energy transition possible? Evidence from the French Low-Carbon Strategy*. *Ecological Economics* », *Ecological Economics*, vol. 196, juin.

- Rausch S., Metcalf G. E. et Reilly J. M. (2011), « [Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households](#) », *Energy Economy*, vol. 33, p. S20-S33.
- Robinet A. et Gérardin M. (2022), « [La voiture électrique : à quel coût ?](#) », *La Note d'analyse*, n° 115, France Stratégie, novembre.
- Rocard M. (2009), *Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie*, juillet.
- 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, octobre.
- Symons E. J., Speck S. et Proops J. L. R. (2002), « [The distributional effects of carbon and energy taxes: The cases of France. The cases of Spain, Italy, Germany and UK](#) », *European Environment*, vol. 12(4), p. 203-212.
- Tourbah A., Reynes F., Hamdi-Cherif M., Jinxue Hu, Landa G. et Malliet P. (2022), « [Investir dans des infrastructures bas-carbone en France, quels impacts macro-économiques](#) », *Revue de l’OFCE*, vol. 176, p. 297-328.
- Wiedmann T. et Minx J. (2007), « [A definition of Carbon Footprint](#) », *Science*, vol. 1(1), p. 1-11.
- Williams R. C. I., Gordon H., Burtraw D., Carbone J. C. et Morgenstern R. D. (2015), « [The initial incidence of a Carbon tax across US States](#) », *National Tax Journal*, vol. 68, p. 195-214.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaires de rédaction

Éléonore Hermand, Gladys Caré

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

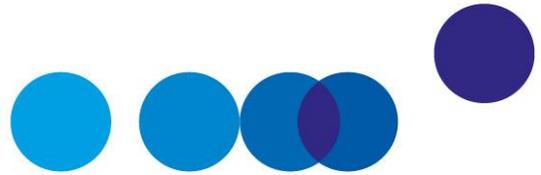
Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de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

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Modélisation

Rapport thématique

Jérôme Trinh (coord.)



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Modélisation

Rapport thématique

Coordinateur

Jérôme Trinh (Direction générale du Trésor)

Mathieu Fouquet (CGDD), Pierre-Louis Girard (Direction générale du Trésor),
Miquel Oliu-Barton (université Paris-Dauphine-PSL et France Stratégie)
et Mathilde Viennot (France Stratégie)

MAI 2023


FRANCE STRATÉGIE


**MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE,
DES FINANCES
ET DE LA SOUVERAINETÉ
INDUSTRIELLE ET NUMÉRIQUE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale
du Trésor

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

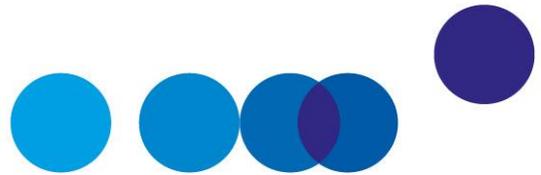
Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré à l'analyse et à la modélisation des effets des différents instruments de décarbonation était placé sous la direction de Jérôme Trinh (Direction générale du Trésor), en collaboration avec Mathieu Fouquet (CGDD), Pierre-Louis Girard (Direction générale du Trésor), Miquel Oliu-Barton (université Paris-Dauphine-PSL et France Stratégie) et Mathilde Viennot (France Stratégie).

Il a bénéficié des commentaires et de l'expertise des contributeurs suivants : Vincent Aussilloux (France Stratégie) ; Laura Berthet, Benoît Campagne, Logan Gourmand et William L'Heudé (Direction générale du Trésor) ; Gaël Callonnec (Ademe) ; Frédéric Gherzi et Nicolas Graves (Cired) ; et Frédéric Reynès (OCFE).

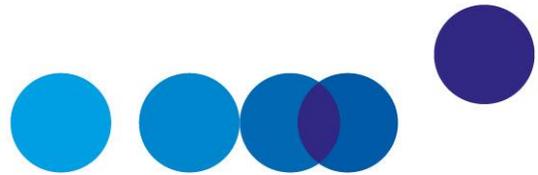


SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	7
Chapitre 1 – Analyse et état de l’art de la modélisation des différentes mesures de décarbonation	9
1. Instruments fondés sur le marché	11
1.1. Tarification carbone ou des énergies fossiles.....	11
1.2. Tarification non carbone et mesures incitatives.....	13
2. Instruments non fondés sur le marché	15
2.1. Mesures réglementaires (réglementations et normes).....	15
2.2. Investissements et dépenses publiques.....	18
2.3. Information.....	19
Chapitre 2 – Cas d’étude : intégration et modélisation des mesures de décarbonation dans les modèles ThreeME et Imacim-R	23
1. Instruments fondés sur le marché	27
2. Mesures réglementaires	28
2.1. Énergie.....	28
2.2. Industrie.....	28
2.3. Agriculture.....	29
2.4. Forêts, utilisation des terres.....	29
2.5. Bâtiment.....	30
2.6. Transport.....	30
3. Financements publics	31
4. Autres mesures	31
Conclusion	33

ANNEXES

Annexe 1 – Revue de littérature des évaluations <i>ex ante</i> de l'impact macroéconomique de l'Inflation Reduction Act.....	37
Annexe 2 – Comparaison de la performance économique de différentes mesures de décarbonation (Chateau <i>et al.</i> , 2022).....	41
Annexe 3 – Autres évaluations de mesures de décarbonation.....	45
Bibliographie	47

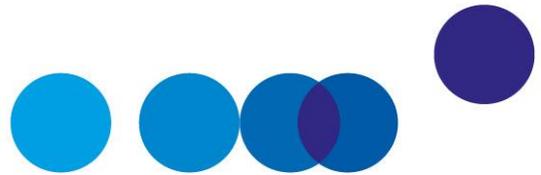


SYNTHÈSE

Trois grandes catégories d'instruments de décarbonation peuvent être distinguées. Les instruments fondés sur le marché (tarification explicite du carbone : quotas échangeables, taxes et subventions de prix) modifient le signal-prix auquel font face les ménages et les entreprises pour les inciter à orienter leurs transactions et leurs investissements vers la décarbonation. Ils sont les plus coût-efficaces lorsqu'ils ciblent et pénalisent précisément les émissions (les taxes plutôt que les subventions), mais peuvent avoir des effets inflationnistes et régressifs. Parmi les instruments non fondés sur le marché, les mesures réglementaires (normes et standards, interdictions) imposent des contraintes technologiques ou volumétriques sur les processus de production ou les comportements des secteurs d'activité ou institutionnels, les forçant à réallouer les facteurs de production. Elles sont notamment utiles pour cibler les secteurs que les mesures incitatives n'ont pas réussi à réorienter, et sont *a priori* plus prévisibles et crédibles que ces dernières. Elles peuvent également avoir des effets inflationnistes et régressifs, même s'ils sont moins directement visibles. Les interventions publiques directes (investissements ou achats publics), quant à elles, traduisent une orientation explicite vers une économie décarbonée mais peuvent être coûteuses à financer, et, comme les subventions, ne pas pénaliser suffisamment les émissions. D'autres instruments de décarbonation existent, comme le recours accru à l'information du consommateur (éco-score) ou de l'épargnant (rapportage extra-financier), mais sont très peu abordés dans les études économiques.

La tarification du carbone, par sa modélisation explicite dans un système de prix, a fait l'objet de nombreuses évaluations macroéconomiques dans la littérature académique et les travaux des administrations et des centres de recherche. Les autres instruments de décarbonation nécessitent une modélisation plus fine des secteurs institutionnels et d'activité, ce qui explique l'intérêt croissant des administrations à l'égard des modèles d'équilibre général à fin découpage sectoriel. Deux modèles calibrés pour l'économie française, ThreeME, développé conjointement par l'Ademe et l'OFCE, et Imacim-R France, développé par le Cired, présentent le détail nécessaire à la modélisation de nombreux instruments de décarbonation déjà mis en place ou envisagés.

Plusieurs dimensions critiques pour l'analyse de l'efficacité des instruments de décarbonation, tels leur acceptabilité, leur accompagnement, leur crédibilité et la nécessité d'une coordination internationale, ne seront pas abordées ici.

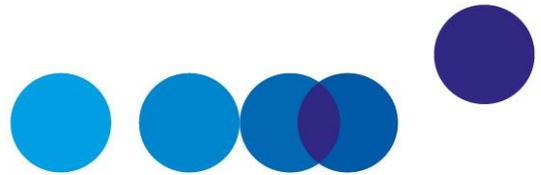


INTRODUCTION

Afin d'assurer l'atteinte de nos objectifs de décarbonation, différents instruments peuvent être mis en œuvre. Ces instruments, qui ont pour but de modifier les comportements des agents, vont avoir des impacts différents sur les niveaux de décarbonation, de bien-être, de compétitivité, etc. Afin d'en quantifier les effets macroéconomiques, il est important de savoir comment les modéliser.

Ce travail dresse une typologie large des différents instruments de décarbonation existants et les répertorie selon l'analyse de leurs effets économiques dans la littérature académique et les travaux des administrations et des centres de recherche. Il revient ensuite sur la manière dont ces instruments de décarbonation peuvent être pris en compte dans les principaux modèles technico-économiques et macroéconomiques, et plus spécifiquement dans les deux grands modèles macro-environnementaux français, ThreeMe et Imacsim. En parallèle, une analyse comparative est proposée sur l'efficacité de ces mesures et leurs impacts économiques.

Cette étude vient compléter trois des rapports thématiques : *Sobriété* – qui traite des changements de préférences des ménages face aux politiques environnementales ; *Enjeux distributifs* – qui rappelle l'enjeu majeur des inégalités dans les possibilités de substitution vers des alternatives décarbonées, d'investissements et de changements de comportement ; et l'annexe « simulation » – qui vise à évaluer l'impact macroéconomique des mesures de transition écologique documentées.



CHAPITRE 1

ANALYSE ET ÉTAT DE L'ART DE LA MODÉLISATION DES DIFFÉRENTES MESURES DE DÉCARBONATION

Cette partie analyse les différents types d'instruments de décarbonation à la fois déjà mis en place ou discutés dans la littérature académique et dans les institutions nationales ou internationales, ainsi que leur modélisation dans les évaluations sectorielles et macroéconomiques. Ces instruments peuvent être catégorisés selon leur caractère incitatif (les instruments fondés sur le marché) ou non, s'ils tarifient explicitement ou implicitement le carbone, ou encore s'ils constituent un changement de réglementation ou une intervention publique directe. À l'instar des travaux de l'OCDE¹ et de l'Ademe², une attention particulière sera accordée au potentiel d'atténuation et aux effets macroéconomiques, en vue de proposer dans le Tableau 1 une comparaison en matière d'arbitrage coût-efficacité des instruments de décarbonation. Certaines dimensions ne sont pas précisément développées, en particulier celle de l'acceptabilité des mesures qui dépendent en particulier de l'hétérogénéité des effets sur les ménages (voir le rapport thématique *Enjeux distributifs*) et qui réclame des mesures d'accompagnement, celle de leur crédibilité et celle du contexte international qui affecte leur efficacité (voir le rapport thématique *Compétitivité*). Les instruments sont par ailleurs présentés de manière indépendante, en fournissant les principaux faits stylisés, leurs caractéristiques économiques et la manière de les modéliser. En pratique, un mix de mesures est le plus souvent mis en place, tirant parti de leur complémentarité et de leurs spécificités selon les secteurs. Le Tableau 2 répertorie les différents modèles qui évaluent les mesures de décarbonation (voir Annexe 3 pour les mesures non détaillées dans ce chapitre).

¹ D'Arcangelo F. M., Johansson A., Levin I., Pagani A. et Pisu M. (2022), « *A framework to decarbonise the economy* », *OECD Economic Policy Paper*, n° 31, février.

² Ademe (2022), *Analyse des conditions de reprise d'une valeur équitable du carbone. État des lieux des arguments et examen comparé des options de politique publique*, « Expertises », juillet.

Tableau 1 – Analyse comparative des instruments de décarbonation

Critère d'évaluation	Instrument fondé sur le marché					Instrument non fondé sur le marché			
	Tarification carbone		Prix non carbone			Réglementation (cibles d'émission, normes)	Information	Intervention publique (investissements publics, commande publique)	
	Taxes (taxes carbone, accises sur les énergies, etc.)	Marchés de quotas échangeables (ETS)	Autres taxes sur les biens et services	Subventions	Bonus-malus				
Potentiel d'atténuation	Élevé (coût-efficacité du signal-prix, incitation continue à réduire les émissions résiduelles)		Élevé si le bien ou service taxé est un bon proxy des émissions, faible sinon	Modéré selon les modalités (risque effets d'aubaine) et l'articulation avec les autres dispositifs d'atténuation (possible effet rebond), ne pénalise pas le brun	Élevé (incitation continue à réduire les émissions résiduelles et à la sortie des produits carbonés)	Élevé à modéré (signal explicite, peut être efficace pour imposer les solutions décarbonées mais possible effet rebond)	Difficile à estimer	Modéré selon la nature de l'intervention, ne pénalise pas le brun	
Effets macro-économiques à court terme	Mécanismes macro-économiques		Choc d'offre négatif par la hausse des prix, impact atténué par le recyclage des recettes		Choc d'offre ou de demande positif par la baisse des prix pour les acteurs ciblés, impact atténué par le financement	Dépend de effets de réallocations, peut augmenter les coûts	Crée des frictions en contraignant les choix des entreprises (lock in technologique), coûts indirects (incidence sur les prix)	Dépend des effets de réallocations	Choc de demande positif pour les secteurs ciblés, impact atténué par le financement
	Impact sur les prix de l'énergie		Prix plus élevés, avec une propagation large à l'économie		Prix plus élevés, avec une propagation moins large à l'économie	Prix plus faibles si ciblage du secteur de l'énergie, limité sinon	Limité, dépend du coût moyen du nouveau mix énergétique (eg. positif si basculement induit vers des sources d'énergie plus coûteuse)		
	Impacts budgétaires		Recettes		Dépenses (potentiellement non capées)	Dépend des réallocations	Limité	Limité	Dépenses
	Compétitivité des secteurs d'activité		Pénalise <i>a priori</i> les secteurs intensifs en émission, et exposés au commerce sans lutte contre les fuites de carbone (MACF, coordination internationale accrue). Incite les entreprises ciblées à innover, augmenter leur efficacité énergétique à moyen terme (cas des ETS)		Neutre si les importations sont aussi taxées	Soutien aux entreprises ciblées	Pénalise les entreprises concernées par le malus et avantage celles concernées par le bonus	Pénalise les secteurs concernés en les soumettant à des normes plus strictes que les entreprises étrangères	Neutre, si coûts de mise en place faibles
Effets redistributifs		Régressif si recyclage des recettes non ciblé			Régressif si non associées à des conditions de revenu	Possiblement régressif car capacité d'adaptation inférieure pour les acteurs plus modestes		Neutre	Difficile à estimer
Charge administrative (faisabilité pratique)		Faible	Modérée (surveillance du marché au niveau européen par la Commission)	Modérée (ciblage sectoriel)	Faible à modérée (peut nécessiter un suivi fin pour favoriser l'efficacité de la dépense)	Élevée (applications sectorielles du bonus et du malus)	Élevée (surveillance de l'application des normes), plus difficile à modifier une fois en place	Modéré (certaines informations ou certifications peuvent être coûteuses)	Facile à mettre en place

Note : les couleurs représentent à titre indicatif la favorabilité d'un instrument au profit du critère d'évaluation correspondant, de défavorable (rouge vif) à favorable (vert foncé).

Source : DG Trésor

1. Instruments fondés sur le marché

1.1. Tarification carbone ou des énergies fossiles

Le prix des émissions de gaz à effet de serre (GES) ou de l'énergie (par exemple, taxe carbone ou taxe d'accise) tout autant que leur quantité plafond (par exemple, marché d'échange de quotas¹) peuvent être fixés pour que les agents économiques internalisent leurs externalités négatives sur l'environnement et modifient de ce fait leurs comportements.

Le signal-prix permet de réduire la demande relative des biens carbonés (en fonction de l'élasticité au prix) et d'inciter un report de la demande et ainsi de l'offre (production et innovation) vers des produits et des activités moins émissifs. Les études² mettent en évidence plusieurs avantages économiques de la tarification carbone permettant d'inciter les acteurs à cibler les actions de décarbonation (i) les plus coût-efficaces (présentant les coûts d'abattement les plus bas) ; (ii) continues dans le temps et sur les émissions résiduelles (limitant le risque d'effet rebond en cas d'investissement dans des équipements moins émissifs) ; et (iii) ne préemptant pas d'un choix technologique et facilitant une application harmonisée, y compris à l'international. Par les recettes qu'elle génère, cette tarification carbone ne détériore pas voire améliore les finances publiques, selon l'utilisation des recettes, et peut avoir un impact direct positif sur la balance commerciale lorsqu'elle touche des produits à l'importation, souvent plus carbonés que les productions françaises et européennes. L'effet sur la balance commerciale dépendra toutefois fortement des politiques mises en place dans les pays tiers et du risque associé de fuite de carbone.

Toutefois, la tarification carbone peut avoir un impact (i) inflationniste, en particulier sur les produits énergétiques pour lesquels les effets de propagation peuvent être larges (voir le rapport thématique [Bien-être](#) ou le rapport thématique [Enjeux distributifs](#) sur l'hétérogénéité des ménages) ; et (ii) régressif, car les ménages les plus exposés aux énergies fossiles (transport, chauffage notamment) sont mécaniquement et relativement les plus touchés, le poids des dépenses d'énergie étant plus important dans le budget des ménages les plus modestes, qui sont aussi plus contraints dans leurs options de substitution³ (voir le rapport thématique [Enjeux distributifs](#)). La tarification carbone – et ses recettes – peut alors être combinée à des mesures de soutien pour les plus modestes afin

¹ Dans le cas d'un marché de quotas carbone, le prix des émissions de GES est déterminé par l'offre et la demande de quotas d'émissions.

² Voir par exemple D'Arcangelo *et al.* (2022), *op. cit.*

³ Voir par exemple CGDD, DLF et DGT (2022), [Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#), octobre.

de limiter ces effets redistributifs, par exemple des aides ciblées sur la rénovation thermique des logements. En augmentant le coût moyen de l'énergie, la tarification risque aussi de rendre les secteurs d'activité relativement intensifs en énergie ou, exposés au commerce international, moins compétitifs, et d'induire des « fuites de carbone » (voir le rapport thématique [Compétitivité](#) concernant le commerce, les fuites de carbone et la compétitivité)¹. Les entreprises directement contraintes à décarboner, par exemple dans les secteurs soumis au système européen d'échange de quotas d'émission (*EU Emissions Trading System* – ETS), peuvent cependant être incitées à améliorer leur processus de production et la qualité de leurs produits, et donc leur compétitivité².

Enfin, il est complexe de déterminer un niveau de taxation adapté qui permette à la fois l'atteinte de l'objectif climatique et une adhésion massive de la population. Toutefois, les impacts inflationnistes et régressifs de la taxe carbone peuvent être atténués voire inversés par la mise en place de mesures d'accompagnement ciblées, notamment via la réutilisation des recettes supplémentaires³, couplées à un travail d'information auprès du grand public sur les effets des politiques de décarbonation pour renforcer l'acceptabilité de la tarification carbone⁴.

Exemples. Au sein de l'Union européenne, le marché de quotas carbone (marché ETS), ou encore, en France, diverses taxes pigouviennes (comme la « composante carbone ») ou, dans une acception plus large, les taxes d'accise sur l'énergie (TIC par exemple) correspondent à ce type d'approche. Certaines suppressions de régimes dérogatoires constituent aussi dans les faits une tarification carbone.

Modélisation. La modélisation de la taxe carbone n'est pas traitée dans ce document. De nombreux articles scientifiques et des évaluations par les administrations existent déjà sur le sujet et ce type de mesures ne présente pas de difficultés particulières pour leur intégration dans des modèles d'évaluation macroéconomiques (par exemple, dans les modèles français ThreeME et Imaclim).

¹ Augmentation des émissions dans le reste du monde suite à la mise en place d'une politique climatique ambitieuse par un pays ou une région, via une réallocation de la production (délocalisation ou perte de parts de marché) au profit de celle des pays tiers.

² Voir, par exemple, Dechezleprêtre A., Nachtigall D. et Venmans F. (2018), « [The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance](#) », Document de travail du département d'économie, n° 1515, OCDE, décembre ; et Alla A. (2023), « [Quel effet du marché carbone européen sur la productivité des entreprises ?](#) », *Trésor-Éco*, n° 323, Direction générale du Trésor, février.

³ Une mesure compensatoire peut être ciblée, dédiée à une catégorie spécifique d'acteurs (par exemple, le premier décile de ménages) et/ou une dépense spécifique (par exemple, le chèque énergie pour la rénovation thermique).

⁴ La communication autour de la visée environnementale des mesures comme l'efficacité de la stratégie globale de décarbonation mise en place y participe également. Dechezleprêtre A., Fabre A. et Stantcheva S. (2022), « [Les Français et les politiques climatiques](#) », *Les notes du conseil d'analyse économique*, n° 73, juillet.

1.2. Tarification non carbone et mesures incitatives

La tarification directe du carbone n'est pas le seul instrument tarifaire pouvant contribuer à la décarbonation. D'autres instruments existent, visant une autre finalité que la réduction des émissions CO₂ (par exemple, la réduction d'émissions de polluants locaux), ou la visant indirectement (par exemple, via l'artificialisation des sols ou le poids des véhicules). Ces tarifications alternatives modifient cependant indirectement le signal-prix du carbone. Bien que visant également des objectifs environnementaux autres que la décarbonation, l'impact attendu sur la demande et l'offre de biens moins carbonés serait d'autant plus important que les objectifs environnementaux sont fortement corrélés à la décarbonation (par exemple, le poids des véhicules). Toutefois, le potentiel d'atténuation de ces mesures, jouant indirectement sur les émissions carbone, est complexe à évaluer.

Exemples. En France, peuvent s'assimiler à de la tarification non carbone des taxes sur les externalités environnementales indirectes (par exemple, la taxe sur les plus-values de terrains à construire ou, en lien plus direct, le malus automobile).

À l'opposé, le recours aux subventions publiques vise à inciter le développement d'activités moins carbonées ou à diminuer les plus émissives. Elles peuvent directement affecter les prix (par exemple, un tarif d'achat garantissant le prix de vente de biens décarbonés, ou la composante bonus du bonus-malus), ou diminuer les coûts des ménages et des entreprises (par exemple, les subventions à l'investissement), et indirectement affecter les prix. Ce soutien conditionné stimule l'offre et la consommation bas-carbone. Ces subventions permettent de cibler certains secteurs ou technologies bas-carbone relativement peu rentables, ou dont le développement se heurte à des contraintes de marché (temps de retour positif mais trop long, restriction d'accès au crédit, etc.). Elles peuvent notamment aider les acteurs à outrepasser une barrière d'investissements dans des biens ou des activités particulièrement intensives en capital (par exemple, les ménages pour la rénovation thermique de leur logement). Les aides peuvent être ciblées vers des catégories d'acteurs pour lutter contre des effets régressifs d'autres instruments. Leur ciblage sur des biens spécifiques permet également de favoriser, à un stade précoce, le développement de certaines filières clés pour la transition (par exemple, pour les entreprises, la R&D et le développement de l'industrialisation de la production d'hydrogène bas-carbone), ou d'inciter à l'investissement dans des biens pouvant être rentables à long terme (par exemple, pour les ménages, l'achat de véhicules électriques). Enfin, par rapport à une tarification carbone ou une mesure réglementaire, subventionner l'énergie décarbonée touche moins la chaîne de valeur des secteurs exposés (voir Annexe 2) et peut même favoriser les entreprises des secteurs déjà impliqués dans la décarbonation. Ces dispositifs constituent un choc d'offre positif en diminuant les coûts des secteurs

ciblés, mais ils peuvent se révéler coûteux pour les finances publiques¹. Leur financement peut atténuer voire compenser leurs effets agrégés (voir Annexe 2).

La diminution des coûts des alternatives peu émissives au lieu du renchérissement des plus émissives risque cependant d'augmenter la consommation globale et de diminuer l'efficacité de la mesure de décarbonation (effet rebond direct). De plus, l'additivité des mesures est incertaine. Dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place pour la décarbonation d'un même secteur (tarification carbone, subvention des activités peu émissives), l'effet déclencheur propre à une mesure sera plus délicat à estimer, tout comme l'impact d'une mesure supplémentaire. Plus largement, le risque d'effets d'aubaine (par exemple en diminuant les coûts pour des entreprises ayant déjà effectué la transition vers une production moins émissive) dépendra fortement de l'efficacité des mesures mises en place.

Exemples. Plusieurs mesures correspondent à des subventions. Il existe différentes mesures incitatives en France, des subventions ou bonus aux produits ou procédés bas-carbone (le bonus automobile, par exemple), des contrats de complément de rémunération (le complément de rémunération pour les énergies renouvelables, par exemple) et des contrats carbone pour différence (*Carbon Contracts for Difference* – CCfD). Des exonérations ou réductions de taxes sur des produits ou procédés bas-carbone (sur les biocarburants, notamment) ont le même effet que des subventions en leur faveur. Aux États-Unis, dans le cadre de l'*Inflation Reduction Act* (IRA – voir Annexe 1), les subventions dans le secteur du transport visent la réduction des émissions diesel. Aux Pays-Bas, le dispositif subventionnel SDE++ compense la différence entre le prix de revient de l'énergie renouvelable ou la réduction des émissions de CO₂ et le revenu (le cas échéant). Il consiste ainsi en un exemple de CCfD non symétrique. Des exemples de subventions non affectées directement sur les prix de marché, venant en soutien à l'investissement ou à l'innovation, sont le chèque forfaitaire *MaPrimeRénov'*, les appels à projets décarbonation de France 2030 ou encore, dans le cadre de l'Union européenne, les appels à projets financés par le Fonds d'innovation de l'ETS.

Modélisation. Modéliser de tels instruments à des fins d'évaluation se fait en modifiant les prix relatifs des alternatives vertes et brunes, soit en augmentant le prix des dernières, soit en diminuant le prix des premières, soit en combinant les deux au sein d'un même secteur dans le cas du bonus-malus. Une incitation à la production décarbonée peut se modéliser en appliquant un taux de taxe ou de subvention dans les recettes des producteurs et constituer un choc d'offre. Par exemple, dans le cas des subventions de prix, Chateau *et al.* (2022)² modélisent dans le modèle IMF-ENV un tarif d'achat (*feed-in tariff*)

¹ Même si un bonus-malus est initialement conçu pour être budgétairement neutre, la mesure peut être déficitaire *a posteriori* lorsqu'elle est mal calibrée.

² Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « [Climate Policy Options: A Comparison of Economic Performance](#) », *IMF Working Papers*, décembre.

qui assure aux producteurs d'électricité solaire et éolienne un prix de vente au-delà du coût unitaire de production et dont le taux est cohérent avec une diminution de 20 % de la part des énergies fossiles en 2030, financé par des hausses de taxe sur le travail ; de même, Kalkuhl *et al.* (2013)¹ modélisent une subvention de l'achat d'énergies renouvelables (EnR) financée par les recettes d'une taxe carbone concomitante (*Carbon Trust*) ou retardée, ou par un prélèvement forfaitaire sur les ménages. Dans le cas des bonus-malus, Chateau *et al.* (2022) modélisent aussi un système de bonus-malus dans le secteur de l'énergie. Toute production d'électricité, dont l'émission d'équivalent CO₂ est au-dessus ou en dessous d'une cible d'émission permettant une diminution de 20 % de la part des énergies fossiles en 2030, est taxée ou bénéficie d'une remise, les taux de taxe et de remise assurant la neutralité budgétaire de la mesure. À l'opposé, pour modéliser une mesure visant à inciter une demande décarbonée, un taux de taxe ou de subvention peut être intégré dans la contrainte budgétaire des acheteurs, par exemple dans le cas du bonus-malus automobile dans le modèle *Energy Policy Simulator* (EPS)². Dans le cas des subventions non affectées directement sur les prix, Ashmoore *et al.* (2022)³ modélisent un soutien à l'investissement dans la construction, ainsi que des crédits d'impôt dans le secteur énergétique afin de substituer la production d'hydrogène, du gaz naturel et/ou du méthane au nucléaire et/ou au renouvelable, de modifier le bouquet énergétique de certaines industries ou d'augmenter la production électrique renouvelable.

2. Instruments non fondés sur le marché

2.1. Mesures réglementaires (réglementations et normes)

Les mesures réglementaires touchent directement l'offre (les entreprises) et la demande (les ménages pour la consommation finale, les entreprises pour la consommation intermédiaire) en visant à limiter, voire interdire, certaines activités émissives ou polluantes, ou à forcer le développement d'une offre de biens ou d'activités bas-carbone, dans une certaine zone ou à partir d'une certaine date. Elles sont efficaces pour lutter contre les externalités négatives, notamment en cas d'un danger majeur pour la santé (par exemple, l'interdiction de l'amiante), ou pouvant présenter un risque irréversible (par

¹ Kalkuhl M., Edenhofer O. et Lessmann K. (2013), « [Renewable energy subsidies: Second-best policy or fatal aberration for mitigation?](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 35(3), février, p. 217-234.

² Pisu M., D'Arcangelo F. M., Elgouacem A., Kruse T. et Hemmerlé Y. (2023), « [Options for assessing and comparing climate change mitigation policies across countries](#) », Document de travail du département d'économie, n° 1749, OCDE, février.

³ Ashmoore O., Gopal A., Mahajan M., Orvis R. et Rissman J. (2022), « [Update inflation reduction act modeling using the energy policy simulator](#) », *Energy Innovation Policy and Technology LLC*, août.

exemple, les normes qui encadrent les installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE). Cette approche a plusieurs effets positifs :

- l'envoi d'un signal prévisible et crédible (par rapport à une promesse d'augmenter graduellement le signal-prix par exemple) forçant certains acteurs à anticiper la restructuration de l'offre des filières concernées ou à changer de mode de production et/ou de consommation plus ou moins rapidement ;
- l'énonciation claire et explicite des objectifs environnementaux de la mesure ;
- permettre de cibler un secteur ou une technologie, en particulier si l'on souhaite une intervention spécifique.

Néanmoins, les réglementations ne sont pas les mesures les plus coût-efficaces : elles peuvent conduire à de mauvais choix technologiques, entraîner, pour les entreprises, un effet de verrouillage technologique¹ et nécessitent un pilotage fin et coûteux pour garantir le respect des objectifs climatiques (évolution des normes par à-coups) et leur efficacité (risque de sur- ou sous-investissement si la norme est mal calibrée).

Par ailleurs, contrairement à la tarification carbone qui s'applique sur l'ensemble des émissions à un instant donné, les mesures réglementaires visent à contraindre les émissions au niveau d'un certain seuil impliquant que l'incitation à la décarbonation ne porte pas sur les émissions restantes, c'est-à-dire résiduelles. En outre, elles ne permettent pas de contrôler l'effet rebond², contrairement aux outils de tarification du carbone qui favorisent la tarification des externalités de façon continue. Il est par ailleurs difficile d'estimer les coûts qu'elles impliquent (« coûts cachés » liés aux investissements induits, au risque de dépréciation du capital, à l'incidence sur les prix, etc.), et leurs impacts en matière de compétitivité, pour des entreprises soumises à une forte concurrence internationale, et de contrôle, qui peuvent être importants³.

¹ Les effets de verrouillage technologique se traduisent en une difficulté à transiter vers une technologie moins carbonée, souvent par cause de prolongation de la durée de vie de l'alternative carbonée par des évolutions incrémentales, et/ou en une diffusion plus lente de technologies vertes innovantes par le cadre réglementaire en vigueur qui incite au développement d'un certain type de technologie verte en particulier. Voir par exemple Hawkins-Pierot J. T. et Wagner K. R. H. (2022). « [Technology Lock-In and Optimal Carbon Pricing](#) », Working Paper, Cesifo, mai ; ou Kalkuhl M., Edenhofer O. et Lessmann K. (2012), « », *Resource and Energy Economics*, vol. 34(1), p. 1-23.

² L'effet rebond est défini comme la différence entre la réduction d'émissions effective et la réduction théorique anticipée. Il peut être direct (portant sur les mêmes postes que ceux concernés par la décarbonation, par exemple une augmentation de la consommation de chauffage après une rénovation thermique) ou indirect (se rapportant à d'autres postes, par exemple les réinvestissements des économies sur la facture énergétique vers l'achat de nouveaux biens).

³ Pour Chateau *et al.* (2022), les réglementations sur les produits échangeables ont un impact négatif sur la compétitivité plus important que la taxe carbone.

Enfin, du point de vue des finances publiques, les mesures réglementaires n'impliquent pas de dépenses ou de recettes supplémentaires immédiates. Elles nécessitent néanmoins une surveillance de l'application des normes et la mise en place de sanctions pour les entreprises contrevenantes. Cette surveillance et les sanctions contribuent d'ailleurs à la crédibilité du signal envoyé par la réglementation et/ou la norme et participent donc de la bonne mise en œuvre de la décarbonation voulue.

Exemples. Plusieurs mesures réglementaires sont déjà mises en place en France et dans l'Union européenne. Concernant les réglementations environnementales, on retrouve par exemple la réglementation RE2020 pour les bâtiments, l'interdiction de la location des passoires thermiques à l'horizon 2025, les zones à faibles émissions (ZFE), ou encore le Décret éco-efficacité tertiaire (DEET) régissant les objectifs de baisse de consommation énergétique des bâtiments tertiaires ; dans l'UE, la directive européenne sur l'efficacité énergétique (DEE). Concernant les normes technologiques, l'UE a mis en place une interdiction de vente des véhicules thermiques en 2035 ainsi qu'une norme CO₂ sur les émissions des véhicules routiers. La France a imposé l'obligation d'installer des panneaux photovoltaïques sur les toits de certains bâtiments.

Modélisation. Une mesure réglementaire s'applique directement à un ou plusieurs secteurs industriels ou institutionnels de l'économie. Son intégration se fait plus ou moins directement dans les modèles selon la finesse de leur découpage et leur détail sectoriel. Les secteurs peuvent être soit modélisés et endogénéisés directement dans le modèle macroéconomique, soit modélisés séparément dans un modèle technico-économique qui est ensuite couplé avec le modèle macroéconomique.

Les modèles peuvent intégrer des contraintes sur les quantités d'intrants utilisés par les entreprises. De telles mesures affectent alors indirectement les prix relatifs des intrants et provoquent des réallocations sectorielles de biens. Dans IMF-ENV, Chateau *et al.* (2022) modélisent par exemple dans le secteur de l'énergie une réduction de 20 % des énergies fossiles en 2030 en imposant dans la contrainte de bouquet énergétique du programme d'optimisation des producteurs d'énergie une part croissante des énergies renouvelables, de telle manière qu'en 2030 la cible soit atteinte. Dans leur propre modèle d'équilibre général intertemporel, Kalkuhl *et al.* (2013)¹ modélisent une réduction des émissions en imposant une contrainte intertemporelle sur le secteur de l'extraction des combustibles fossiles sous la forme d'un plafond sur les extractions cumulées au cours d'une période donnée.

Certains modèles endogénéisent la capacité de production des secteurs industriels. Des mesures peuvent se modéliser alors comme un ajustement des investissements ou

¹ Kalkuhl M., Edenhofer O. et Lessmann K. (2013), « [Renewable energy subsidies: Second-best policy or fatal aberration for mitigation?](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 35(3), février, p. 217-234.

des canaux d'entrée de nouveaux acteurs dans les secteurs visés, ce qui contraint ou favorise l'offre en faveur de la décarbonation. Dans REMIND, Bertram *et al.* (2015)¹ modélisent un moratorium sur le charbon en contraignant l'investissement dans de nouvelles capacités de production utilisant le charbon (électricité, liquides, essence et hydrogène). Un soutien aux technologies peu carbonées est aussi modélisé en imposant un niveau plancher de déploiement de capacités de production d'électricité éolienne et solaire, de séquestration du carbone et de production de voiture électrique. Les coûts supplémentaires de la production d'électricité sont financés par un tarif additionnel sur l'électricité, évitant ainsi d'éventuels effets rebond.

Au lieu d'être le résultat de la résolution du modèle macroéconomique, des chroniques de quantités et de prix peuvent être celles d'un modèle technico-économique séparé, dont les sorties sont par la suite intégrées soit de manière exogène, soit en calibrant le modèle macroéconomique à travers des chroniques de prix fictifs qui lui permettent de reproduire les sorties des modèles technico-économiques. Par exemple, Weitzel *et al.* (2023)² évaluent l'effet de mesures du 2030 Climate Target Plan européen en faveur de l'efficacité énergétique, les EnR et le transport terrestre, tels les normes pour les véhicules et les codes de construction qui augmentent les coûts pour les ménages et les entreprises, soit en contraignant (seuils minimaux) ou en incitant (prix fictifs) à la rénovation et l'efficacité énergétique dans le modèle énergétique PRIMES. Ce dernier produit alors des chroniques de consommation d'électricité et d'énergie dans le résidentiel et les transports qui fixent les volumes et les prix de ces transactions dans le modèle macroéconomique JRC-GEM-E3.

2.2. Investissements et dépenses publiques

Le secteur public peut également investir dans des activités bas-carbone ou favoriser leur développement via des achats publics ou des mesures ciblées de soutien à l'investissement privé. Ces achats ciblés augmentent la demande adressée aux activités bas-carbone pour stimuler leur production. Ils peuvent en outre être conditionnés à une remontée de données permettant de vérifier la réalisation effective des projets d'investissement. Cependant, les investissements ou achats publics ne pénalisent pas directement les émissions et peuvent être coûteux pour les finances publiques, s'ils n'engendrent pas une hausse d'activité et de recettes équivalentes.

¹ Bertram C., Luderer G., Pietzcker R. C., Schmid E., Kriegler E. et Edenhofer O. (2015), « [Complementing carbon prices with technology policies to keep climate targets within reach](#) », *Nature climate change*, 5(3), février, p. 235-239.

² Weitzel M., Vandyck T., Los Santos L. R., Tamba M., Temursho U. et Wojtowicz K. (2022), « [A comprehensive socio-economic assessment of EU climate policy pathways](#) », *Ecological Economics*, 204, 107660, novembre.

Exemples. Plusieurs investissements ou achats publics durables (de l'État notamment) pour la rénovation des réseaux et des infrastructures, ou encore dans les technologies bas-carbone, sont des exemples de dépenses publiques favorisant la décarbonation. Elles peuvent par exemple être faites via la prise de participation de l'État dans des entreprises (EDF, SNCF, à capitaux publics) ou directement par les collectivités ou l'État dans la rénovation énergétique des bâtiments publics (par exemple dans les écoles, les hôpitaux, etc.).

Modélisation. De la même manière que pour les mesures réglementaires, la modélisation de ces investissements et achats publics peut prendre plusieurs formes selon l'effet direct ou attendu de la mesure. Cependant, à la manière de la subvention, le coût de la mesure est à imputer aux administrations publiques. Par exemple, Ashmoore *et al.* (2022)¹ modélisent le financement d'emprunt dans la production de biens intermédiaires pour développer le réseau électrique.

2.3. Information

Enfin, les mesures informationnelles permettent d'apporter de l'information ciblée et de sensibiliser les acteurs sur l'impact de leurs activités sur le changement climatique et l'environnement (voir le rapport thématique [Sobriété](#)). Elles orientent ainsi les décisions de consommation² et d'investissements des acteurs. Ces mesures supposent des développements méthodologiques souvent lourds comme par exemple la mise en place de label intégrant toutes les étapes du cycle de vie d'un produit (analyse en cycle de vie, etc.). Pour être exhaustive, cette approche nécessite de mobiliser les acteurs étrangers pour agir sur les produits importés et les activités poursuivies étrangères. Il est par ailleurs difficile d'estimer des coûts pour les acteurs (certification, récolte de données, etc.) et un risque de *greenwashing* existe dans le cas d'une méthodologie peu robuste.

Exemples. En France, plusieurs exemples de ce type de mesures informationnelles existent : le diagnostic performance énergétique, les labels environnementaux, l'affichage éco-score, le score carbone, la taxonomie environnementale de l'Union européenne, les certificats de garantie d'origine, le budget vert pour les dépenses publiques de l'État, etc.

Modélisation. L'analyse des effets d'une mesure informationnelle au travers de modèles nécessiterait de modéliser finement les préférences des ménages, et donc d'émettre des hypothèses fortes sur leurs comportements pour quantifier des effets de substitution en faveur de la décarbonation (voir le rapport thématique [Sobriété](#)).

¹ Ashmoore *et al.* (2022), *op. cit.*

² Lohmann *et al.* (2022) montrent une réduction de 4,3 % des émissions carbone liées à l'alimentation suite à l'introduction d'un écolabel : Lohmann Paul M., Gsottbauer E., Doherty A. et Kontoleon A. (2022), « [Do carbon footprint labels promote climatarian diets? Evidence from a large-scale field experiment](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 114, juin.

Tableau 2 – Modélisation des mesures de décarbonation (hors taxe carbone explicite) dans les modèles technico-économiques sectoriels et macroéconomiques

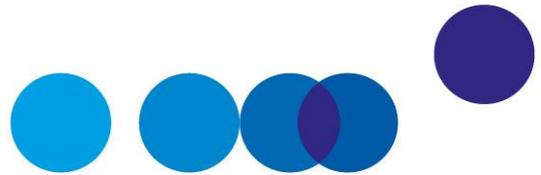
Catégorie	Secteur	Instrument	Applications ou évaluations macro (* technico-éco)
Instruments fondés sur le marché	Énergie	Tarifs d'achat	IMF-ENV(3), Kalkuhl <i>et al.</i> 2011(5)
		Bonus-malus	IMF-ENV(3), Kalkuhl <i>et al.</i> 2011(5)
	Industrie	Crédit d'impôt	EPS*(8)
		Crédit d'impôt	EPS*(8)
	Transport	Bonus-malus	Energy Policy Simulator* (EPS)(6)
		Soutien à l'investissement	EPS*(8)
Instruments non-fondés sur le marché – Mesures réglementaires	Énergie	Contrainte de bouquet énergétique	AIM-HUB(6), GEM-E3(6), IMF-ENV(3), MESSAGE-GLOBIOM(6), WEGDYN(6)
		Contrainte de capacité de production	AIM-HUB(6), DNE21+(4), EPS*(6), GCAM*(4), GEM-E3(6), GRACE(6), Imacim(4,6), IMAGE(4), MERGE-ETL(4), MESSAGE-GLOBIOM(4,6), POLES*(4), REMIND(2,4), WEGDYN(6), WITCH(4,6)
		Normes d'émission	AIM-HUB(6), GRACE(6), Imacim(6), IMF-ENV(3), MESSAGE-GLOBIOM(6), SNOW GL HH(6), WEGDYN(6), WITCH(6)
		Amélioration du bilan carbone des fossiles	EPS*(6)
	Industrie	Normes d'émission	EPS*(6,8), IMF-ENV(3), Kalkuhl <i>et al.</i> 2011(5)
		Contraintes de capacité de production	REMIND(2)
		Amélioration de l'efficacité énergétique	AIM-HUB(6), CEEPA(6), DART(6), EPS*(6), GCAM*(1), GRACE(6), Imacim(6), MESSAGE-GLOBIOM(1), IEG-CGE(8), MARKAL*(6), REMIND-MagPIE(1), TIMER*(6), WEGDYN(6), WITCH(6)
		Séquestration du carbone	EPS*(6), GCAM*(1), MESSAGE-GLOBIOM(1), REMIND-MagPIE(1)
	Agriculture	Aides aux producteurs et aux consommateurs	AIM-HUB(6), GRACE(6), WEGDYN(6), WITCH(6)
		Réduction des émissions	GCAM*(1), MESSAGE-GLOBIOM(1), NEVRES*(6), REMIND-MagPIE(1)
		Conservation de la biodiversité	MESSAGE-GLOBIOM(1)
	Forêts, utilisation des terres	Protection des terres	AIM-HUB(6), GCAM*(1), MESSAGE-GLOBIOM(1), REMIND-MagPIE(1)
		Reforestation	EPS*(6)

Catégorie	Secteur	Instrument	Applications ou évaluations macro (* technico-éco)
	Bâtiment	Électrification	GCAM*(1), MESSAGE-GLOBIOM(1), NEV-RES*(6), REMIND-MagPIE(1)
		Normes sur les codes de construction	EPS*(6), JRC-GEM-E3(7), PRIMES*(7)
		Rénovation énergétique	EPS*(6), JRC-GEM-E3(7), PRIMES*(7)
	Transport	Efficacité énergétique	EPS*(6), GCAM*(1), JRC-GEM-E3(7), MESSAGE-GLOBIOM(1), NEV-RES*(6), PRIMES*(7), REMIND-MagPIE(1)
		Mobilité urbaine	EPS*(6)
		Électrification	EPS*(6)
Instruments non fondés sur le marché – Intervention publique	Industrie	Financement d'emprunt	EPS*(8)

Sources : (1) Bertram et al. (2020)¹, (2) Bertram et al. (2015), (3) Chateau et al. (2022), (4) Eom et al. (2015)², (5) Kalkuhl et al. (2013), (6) OCDE (2022), (7) Weitzel et al. (2023), (8) Ashmoore et al. (2022)

¹ Bertram C., Hilaire J., Kriegler E., Beck T., Bresch D. N., Clarke L., Yu S. et al. (2021), *NGFS Climate Scenarios Database*, Technical Documentation, version 2.2, septembre.

² Eom J., Edmonds J., Krey V., Johnson N., Longden T., Luderer G., Riahi K. et Van Vuuren D. P. (2015), « *The impact of near-term climate policy choices on technology and emission transition pathways* », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 90, p. 73-88, janvier.



CHAPITRE 2

CAS D'ÉTUDE : INTÉGRATION ET MODÉLISATION DES MESURES DE DÉCARBONATION DANS LES MODÈLES THREEME ET IMACLIM-R

ThreeME et Imaclim-R sont deux modèles macro-environnementaux calibrés pour la France (voir Encadrés 1 et 2) et utilisés pour évaluer l'impact macroéconomique de la transition écologique dans le cadre de ce groupe de travail. Les différents instruments de décarbonation détaillés dans la partie précédente peuvent y faire l'objet d'une modélisation, dont nous indiquons les pistes dans ce chapitre.

Encadré 1 – Présentation du modèle Imaclim-R

Le modèle Imaclim-R France est un modèle dynamique, récursif, multisectoriel, à arbitrages endogènes. Parmi les modèles du projet de modélisation Imaclim¹ porté par le Cired, il est le plus pertinent pour modéliser les comportements économiques de l'économie française. Il combine un cadre d'équilibre général calculable (CGE) avec des modules sectoriels dans une architecture dynamique, hybride et récursive. Il permet d'étudier les scénarios de croissance dans des mondes sous-optimaux (utilisations partielles des facteurs de production et anticipations imparfaites), en s'appuyant sur une représentation explicite des systèmes énergétiques et techniques (industrie, automobile, bâtiments, etc.).

¹ Il se décline en plusieurs projets calibrés pour plusieurs pays. Deux sont actuellement calibrés sur la France : un modèle statique « Imaclim-S » à comportements exogènes, utilisé pour l'évaluation de la Stratégie nationale bas-carbone 2 (SNBC 2), reconduit pour celle de la SNBC 3 (appelé dans ce dernier cadre à être étendu à la dynamique récursive) ; un modèle réduit KLEM conçu pour être couplé à des modèles d'ingénieur de type POLES, TIMES ou LEAP, et ne proposant que très peu de comportements endogènes, très agrégés, et en dehors des arbitrages opérés dans le modèle couplé.

Imaclim-R France modélise une trajectoire économie-énergie en résolvant un équilibre économique statique chaque année, et en ajustant les coefficients techniques dans des modules dynamiques *bottom-up*. Le commerce international est exogène, mais la balance commerciale peut être paramétrée pour tenir compte de contraintes sur l'investissement.

Ménages. La demande finale des ménages en biens et services est déterminée par la maximisation d'une fonction d'utilité qui tient compte des contraintes d'équipement (logement et transport via un coût du transport généralisé) des ménages. Les ménages économisent une partie de leur revenu.

Administrations publiques. Elles collectent les recettes des taxes et des mesures, réalisent les dépenses dans les infrastructures publiques, et organisent les transferts. La dette n'est pas représentée, et les transferts sont réalisés de sorte à permettre l'équilibre budgétaire chaque année.

Secteur électrique. Il est représenté en prenant en compte les contraintes physiques qui imposent une quasi-égalité entre la production et la demande à tout instant. Le mix énergétique comprend treize technologies possibles, qui sont caractérisées par des paramètres permettant de calculer leur coût de production d'énergie escompté : coût des capitaux installés (€/kW), efficacité énergétique (en pourcentage, pour les technologies qui utilisent des énergies fossiles), coûts opérationnels et de maintenance, coûts fixes et variables (€/kW et €/kWh) et taux d'escompte propre à chaque technologie. Cette représentation explicite permet de modéliser les principales politiques publiques portant sur le secteur : changements dans le bouquet énergétique, normes, efficacité énergétique...

Secteur résidentiel. La consommation énergétique du secteur résidentiel est déterminée lors de la résolution statique par des coefficients de consommation moyens au mètre carré, calculés à partir d'un suivi des types de logements (maisons individuelles, logements collectifs, logements sociaux), du stock, de la surface et de la catégorie énergétique de ces logements. Ces coefficients contraignent le budget des ménages, dont la demande énergétique dépend des choix d'équipement réalisés les années précédentes : ils sont considérés comme inélastiques aux prix à court terme. La surface par habitant est variable et fonction des revenus de l'année lors de l'équilibre statique précédent. Plusieurs types de politiques publiques ne s'appuyant pas sur les marchés sont utilisées dans le modèle : crédits d'impôt pour la rénovation / éco-prêt à taux zéro, normes (réglementation thermique) ou obligations de rénovation.

Secteur du transport. Lors de la résolution statique, le transport de passagers et de marchandises est caractérisé par le nombre et les caractéristiques des voitures des ménages, l'efficacité énergétique des voitures, les capacités des infrastructures

des différents modes de transport, et des coefficients de consommation d'énergie (à la fois du secteur des transports et du secteur composite / des services).

Le stock de véhicules est représenté explicitement et segmenté par type et consommation des véhicules. Un module technique bonus-malus modélise ce mécanisme. Les politiques publiques implémentées, à l'exception des différentes taxes sur le poids ou les carburants, comprennent les normes, l'éco-redevance poids lourds et l'électrification du parc automobile.

Autres secteurs productifs. L'industrie est scindée en deux ensembles, un secteur d'industries lourdes regroupant sidérurgie, ciment, papier et chimie, et un solde d'activités industrielles agrégé au secteur des services¹. Ces secteurs productifs, dont en plus l'agriculture, réalisent un profit (spécifique au secteur) lors de la vente de leurs services. Ils peuvent investir dans l'efficacité énergétique lors de la résolution de l'équilibre statique.

Encadré 2 – Présentation du modèle ThreeME

ThreeME (Modèle macroéconomique multisectoriel pour l'évaluation des politiques environnementales et énergétiques) est un modèle macroéconomique et multisectoriel ouvert (« *open source* ») développé pour évaluer les impacts économiques de politiques environnementales et énergétiques à moyen et long terme en France² (pour une description détaillée, voir www.threeme.org).

ThreeME est un **modèle en équilibre général néo-keynésien**, où les prix et les quantités sont rigides à court terme et n'équilibrent donc pas instantanément l'offre et la demande optimales. Contrairement à un modèle à équilibre walrasien, ce cadre théorique modélise plus finement la phase de transition des effets d'une politique, et pas seulement une analyse de long terme. À court terme, l'offre s'ajuste à la demande. À moyen et long terme, l'offre influence la demande via les revenus générés par les facteurs de production.

La dynamique du modèle est guidée par les **processus d'ajustement** des prix et des quantités qui supposent que les valeurs effectives s'ajustent progressivement à leur niveau dit « notionnel » (c'est-à-dire désiré ou optimal à long terme). La spécification retenue est micro-fondée et est dérivée de la minimisation d'un

¹ Une désagrégation plus poussée est prévue dans le cadre des travaux en cours sur l'emploi financés par le CGDD.

² ThreeME est maintenant appliqué à d'autres pays tels que l'Union européenne, le Mexique, la Tunisie, l'Indonésie ou les Pays-Bas.

modèle avec coûts d'ajustement quadratiques. Les paramètres d'ajustement sont calibrés sur des estimations de la littérature économétrique¹. Les prix et les quantités effectives s'ajustent alors lentement à leur optimum défini par un comportement de maximisation permettant ainsi des situations de déséquilibre entre l'offre et la demande ou de sous-emploi.

Les **entreprises** choisissent en concurrence imparfaite la demande de facteurs de production (capital, travail, consommations intermédiaires énergétiques et non énergétiques) optimale qui minimise les coûts de production sous l'hypothèse d'une fonction production flexible. Les **ménages** ont à long terme une cible de taux d'épargne endogène susceptible de dépendre de diverses variables mises en avant par les principaux modèles théoriques de consommation : taux d'intérêt réel (modèle du revenu permanent, de cycle de vie), taux de chômage (modèle avec épargne de précaution), taux d'endettement de l'État (équivalence ricardienne). Les **salaires** s'ajustent par une courbe de Phillips ou une courbe de *wage setting*. Le **taux d'intérêt réel** est fixé par les autorités monétaires selon une règle de Taylor : il augmente avec l'inflation et diminue avec l'activité.

La **désagrégation sectorielle** permet l'analyse des effets du transfert d'activité d'un secteur à un autre, notamment en termes d'emploi, d'investissement, de consommation d'énergie et de commerce extérieur. Le modèle pour la France dispose d'une segmentation en trente-sept secteurs économiques, dont dix-sept secteurs énergétiques et cinq secteurs de transport (transport ferroviaire, transport routier de voyageurs et de marchandises, par eau et aérien). Le secteur pétrolier est subdivisé en deux, pétrole et biocarburant ; celui de la production et distribution d'électricité en huit technologies : nucléaire, centrale au fioul, centrale combinée gaz, centrale au charbon, éolien, solaire, hydraulique et cogénération. Enfin, la production et distribution de gaz et de chaleur est assurée par six secteurs : gaz naturel, bois, biogaz, incinération des ordures ménagères, géothermie et cogénération.

La **désagrégation énergétique** permet l'analyse des comportements en matière de production et de consommation d'énergie. Les secteurs d'activité peuvent arbitrer entre différents investissements énergétiques : substitution entre capital, travail et énergie quand les prix relatifs changent, substitution entre sources d'énergie. Les ménages peuvent substituer entre sources énergétiques, entre modes de transport et entre types de biens ou services.

Concernant les **comportements de consommation de produits de base (commodities)**, deux versions de ThreeME peuvent être simulées. Dans la première, dite « standard », les ménages maximisent une fonction d'utilité, croissante des quantités consommées de chaque bien, sous une contrainte de

¹ En particulier à partir des estimations des modèles plus agrégés d'inspiration néo-keynésienne de l'économie française, tels E-MOD de l'OFCE ou Mésange de l'Insee et de la Direction générale du Trésor.

dépense globale cible. La consommation de chaque bien suit alors plus ou moins proportionnellement les évolutions du revenu en fonction des arbitrages possibles entre biens de consommation. En particulier, une structure de fonction d'utilité imbriquée permet de représenter les substitutions entre investissements d'efficacité énergétique et produits standards énergétiques. Dans la version dite « hybride », la quantité d'énergie consommée n'est pas liée directement au revenu des ménages. Elle n'entre pas directement dans la fonction d'utilité du ménage car elle n'est pas désirée pour elle-même. Elle est assimilée à un bien complémentaire d'un service rendu. Sa consommation dépend de l'évolution et de la nature du stock de capital (véhicules, immeubles, biens d'équipement). Par exemple, l'énergie utilisée pour les besoins du chauffage dépend du nombre de bâtiments existants et de la classe énergétique à laquelle ils appartiennent. Cette hypothèse empruntée aux modèles énergétiques *bottom-up* développés par les ingénieurs est plus réaliste que celle des modèles CGE (dits « *top-down* ») et reprise dans la version standard. En effet, elle permet de tenir compte de niveau de saturation, de la complémentarité de l'énergie avec d'autres biens (voitures, logements), mais aussi d'endogénéiser les mécanismes d'efficacité énergétique observés dans la consommation des ménages.

1. Instruments fondés sur le marché

ThreeME et Imaclim intègrent des taux de subventions et taxes sur les produits. Les mesures touchant les prix des produits (tarifs d'achat, subventions de prix, bonus-malus) peuvent être modélisées. Dans le secteur de l'énergie, un choc sur le taux des taxes intérieures de consommation (TIC) sur les renouvelables et les fossiles peut donc être calibré.

Ces chocs modifient le signal-prix des biens des secteurs concernés, une taxe renchérissant ou une subvention diminuant le prix relatif du bien contre ses alternatives. Du côté de la demande, un renchérissement relatif du coût d'achat diminue la demande et peut provoquer une substitution vers des alternatives de meilleur marché. Du côté de l'offre, un renchérissement relatif des coûts de production réduit l'offre et incite au basculement vers des alternatives technologiques moins onéreuses. La hausse des coûts de production se transmet ensuite progressivement à l'ensemble des prix dans l'économie.

Il est également possible de calculer le taux de taxe ou de subvention nécessaire pour atteindre une cible de prix en renversant les équations de prix.

2. Mesures réglementaires

2.1. Énergie

Dans ThreeME, il est possible d'introduire directement un choc sur le mix énergétique (parts de marché des sources d'énergie), de manière exogène, tandis que les demandes d'énergie sont endogènes. Dans Imaclim-R spécifiquement, le mix électrique et les mix des consommations d'énergie des transports et du secteur résidentiel sont endogènes, résultant d'une compétition entre technologies explicitement représentées – il est cependant possible d'introduire des contraintes sous forme de restrictions à l'investissement dans certaines technologies, ou même de retraits de capacités ou d'équipements. Les mix des consommations d'énergie des productions autres que d'électricité et de services de transport sont exogènes.

Pour les deux modèles, les capacités de production électrique sont modélisées par le suivi des puissances installées par type de centrale (26 technologies de production pour Imaclim-R).

Les émissions sont endogènes dans ThreeME. Elles dépendent à la fois de la demande énergétique et de la composition du mix énergétique. Les intensités en carbone peuvent être implicitement calculées en faisant le ratio des émissions sur la consommation énergétique. Dans le cas spécifique des énergies fossiles, leur bilan carbone est endogénéisable en jouant sur l'autoconsommation des branches et modélisant de la séquestration du carbone à la sortie des cheminées. Dans Imaclim-R, les intensités en carbone des différentes technologies de production électrique sont exogènes. Certaines existent dans des versions avec capture et stockage du carbone (CCS), dont les émissions sont supposées nulles.

2.2. Industrie

Les émissions énergétiques des secteurs industriels peuvent être modulées en jouant sur le bouquet énergétique (les entreprises peuvent substituer les sources d'énergies entre elles), et l'efficacité énergétique (en réalisant des investissements de substitution du capital à l'énergie). Ces mécanismes sont endogènes dans ThreeME, et exogènes mais pilotables dans Imaclim en modifiant les coefficients technologiques à la Leontief.

Les émissions non énergétiques (liées à la consommation de combustibles à double usage ou à la décarbonation des produits minéraux non métalliques) dépendent de la production des secteurs dans ThreeME. Ces émissions de carbone dites « de process » ne sont pas modélisées dans Imaclim-R.

Les capacités de production de chacun des secteurs industriels sont endogènes dans l'un et l'autre modèle. Elles résultent de l'accumulation de capital, par le biais d'une règle d'allocation sectorielle de l'investissement. Dans Imaclim-R, cette ventilation dépend des anticipations de demande (imparfaites) et du taux d'utilisation des capacités des secteurs, qui rétroagit aussi sur les coûts de production. Un certain pilotage des trajectoires de développement des différents secteurs peut aussi être obtenu en jouant sur les demandes intermédiaires, qui résultent pour chaque secteur de « coefficients techniques » (consommations par unités produites) exogènes.

La séquestration du carbone dans l'industrie est modélisée dans ThreeME, via l'utilisation de l'énergie comme consommation intermédiaire pour les processus industriels, mais pas dans Imaclim-R.

2.3. Agriculture

Le secteur agricole est modélisé à part entière dans ThreeME et Imaclim-R. Il n'y a pas de distinction entre les différents types d'agriculture (par exemple, agriculture biologique ou non). Des aides sont modélisables – comme des subventions sectorielles –, mais des aides ciblées, et de manière générale toute mesure ciblée sur un type particulier d'agriculture (par exemple, conservation, biodiversité) doit passer par l'appui d'un modèle technico-économique, nécessaire pour calibrer un choc cohérent agrégé sur le secteur agricole.

Les émissions des consommations d'énergie du secteur agricole sont modélisées comme celles des autres secteurs pour les deux modèles (voir *supra*). Imaclim-R ne représente pas les autres sources d'émissions : CH₄, N₂O ou émissions liées aux usages des sols. Dans ThreeME, les émissions des autres gaz à effet de serre sont proportionnelles à l'activité qui les génère. Les coefficients d'émissions peuvent être modifiés de manière exogène pour simuler soit un progrès technique, soit une modification des modes de production (la modification de la composition de l'assiette des Français pourrait entraîner un ralentissement de l'élevage au profit du maraîchage et limiter en conséquence les émissions de méthane).

2.4. Forêts, utilisation des terres

Les activités de foresterie sont agrégées au secteur agricole dans ThreeME comme dans la version actuelle d'Imaclim-R.

La reforestation est modélisable dans les deux modèles comme un choc calibré d'investissement dans la branche agricole qui comprend la sylviculture, ainsi que potentiellement un choc sur les puits de carbone.

Des expériences de couplage du modèle Imaclim-R Monde et des projets de couplage d'un modèle Imaclim-Sénégal à des modèles d'usage des sols développés au Cired (Nexus-LU, Agrimonde) pourraient bénéficier au modèle Imaclim-R France.

2.5. Bâtiment

ThreeME et Imaclim incluent un secteur du bâtiment où plusieurs modes de chauffage sont détaillés. Il est donc possible d'y modéliser des mesures d'électrification.

Dans Imaclim-R, un module technique est dédié à la modélisation des demandes d'énergie du bâtiment. Quatre types de chauffage sont modélisés (électrique, gaz, fioul, bois). Le stock et la qualité thermique des logements sont modélisés explicitement.

Les modèles intègrent également une distinction de classes de logement selon leur étiquette DPE et peuvent donc modéliser des mesures de rénovation énergétique (CEE, MaPrimeRénov'). Les sauts de classe sont endogènes dans ThreeME. Les mécanismes d'arbitrage des ménages entre rénovation et gains énergétiques sont calibrés de manière à reproduire les résultats des modèles technico-économiques de rénovation (ou déclassement) énergétique du stock de logements (MEMFIS).

Les classes de DPE étant modélisées dans ThreeME, il y est possible d'intégrer les effets attendus d'une mesure modifiant les normes sur les codes de construction. Il est ainsi possible de contraindre toutes les constructions neuves à relever des classes A ou B à partir d'une certaine date.

2.6. Transport

Dans ThreeME, la consommation énergétique et les émissions des divers modes de transport sont endogènes. Elles dépendent du nombre et des types de véhicules en circulation. Les ménages comme les transporteurs choisissent la classe énergétique de leur véhicule et le type de motorisation selon l'évolution du coût d'usage des diverses alternatives. Les parts de marché entre les divers modes de transport (train, fluvial, aérien ou maritime) dépendent également d'arbitrages en fonction des coûts. Il est aussi possible d'y introduire des chocs exogènes sur les besoins de mobilité (comme par exemple la demande de transport collectif liée à une extension de l'offre ou une piétonnisation de la voirie, ou la réduction des trajets domicile-travail liée au développement du télétravail) en faisant varier la distance parcourue par les ménages par mode de transport.

Dans Imaclim, l'efficacité énergétique et l'électrification dans les transports sont modélisées via la flotte de véhicules particuliers qui est endogène, et le mix énergétique des modes de transport qui est exogène. Il est possible d'y introduire des chocs exogènes

sur les intensités et le mix de carburants consommés (y compris l'électricité) pour le transport de marchandises ou de personnes (bus par exemple).

Des mesures affectant la mobilité peuvent être considérées en impactant les dynamiques du report modal. Dans Imaclim-R, le choix modal en matière de transport individuel est endogène, résultant notamment de l'investissement cumulé dans les infrastructures nécessaires à chaque mode. La ventilation de l'investissement public dans ces infrastructures est exogène. Son pilotage permet de contrôler l'évolution du choix modal.

3. Financements publics

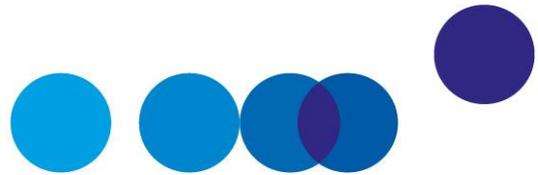
Des crédits d'impôt sont modélisables en ajustant la fiscalité des entreprises différenciée par secteur. Dans ThreeME, il est possible de réduire les taxes à la production ou d'augmenter les subventions soit à la production soit à la consommation. Dans Imaclim-R, il est possible de calibrer un choc sur le total des impôts de production des différents secteurs.

Pour des mesures facilitant le financement, il est possible dans ThreeME de bonifier dans chaque secteur des taux de crédit et d'allonger la durée des prêts afin de diminuer le coût du capital. Dans Imaclim-R, les conditions de financement des secteurs productifs ne sont pas explicitées. Elles ne jouent qu'au travers d'un taux de marge appliqué à l'ensemble des coûts de production (*mark-up pricing*), qui couvre l'excédent brut d'exploitation donc la somme des coûts en capital et des profits (au sens comptable). Ce taux de marge peut être ajusté à la baisse afin de représenter des mesures de soutien au financement dans l'hypothèse où la concurrence est assez forte pour interdire les effets d'aubaine.

Le soutien à l'investissement est quant à lui modélisable en influant sur l'investissement et le stock de capital des différents secteurs (par exemple, soutien au ferroviaire, aux bornes électriques des particuliers).

4. Autres mesures

Des mesures informationnelles (par exemple, labels, taxonomie) relèvent de la modélisation comportementale qui n'est pas finement considérée dans les modèles étudiés. Des chocs exogènes sur la demande peuvent toutefois être calibrés. Imaclim-R explicite par ailleurs des coûts intangibles dans certains choix de technologie (coûts perçus par les utilisateurs mais sans contrepartie financière), qui peuvent être choqués également. Une augmentation de ces coûts intangibles en faveur de la décarbonation réduirait la demande adressée aux alternatives carbonées.



CONCLUSION

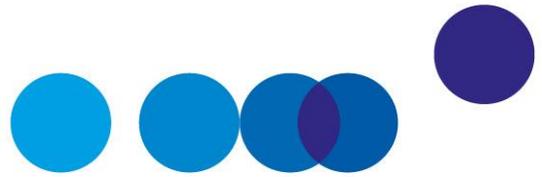
L'objectif de ce chantier est de comparer les différents instruments de décarbonation selon leurs effets sur les comportements des ménages et des entreprises, et de décrire des possibles modélisations pour en dériver les impacts macroéconomiques. Plusieurs enjeux ou recommandations en ressortent. Concernant les instruments, on peut identifier les faits stylisés suivants, même si, en pratique, une combinaison de mesures est le plus souvent mise en place, permettant de jouer sur leurs complémentarités et de s'adapter aux spécificités de chaque secteur :

1. La tarification du carbone et, dans une moindre mesure, les autres instruments fondés sur le marché (en particulier les taxes plutôt que les subventions) sont les instruments de décarbonation les plus coût-efficaces car ils internalisent le coût d'émission de GES de la manière la plus explicite et la plus continue dans le temps. Cependant, leurs effets inflationnistes et régressifs peuvent appeler des mesures d'accompagnement pour les atténuer et renforcer l'acceptabilité de la tarification (voir le rapport thématique [Enjeux distributifs](#) pour l'implication de l'hétérogénéité des ménages sur les effets redistributifs).
2. Les mesures de type réglementaire sont à la fois sectoriellement spécifiques mais également moins flexibles par leur calibrage ponctuel dans le temps, ce qui peut entraîner des effets rebond et de verrouillage technologique qui peuvent nuire à leur potentiel d'atténuation. Ces mesures permettent cependant de cibler des secteurs qu'une tarification carbone n'atteindrait pas ou peu et constituent un signal plus prévisible et crédible que cette dernière.
3. L'intervention publique directe (par exemple les achats et les investissements publics) permet à l'État de rediriger directement les entreprises et les ménages vers la décarbonation si les autres instruments ne le font pas déjà indirectement. Néanmoins, elle ne pénalise pas directement les émissions, peut aller à l'encontre de la sobriété énergétique et est coûteuse pour les finances publiques.

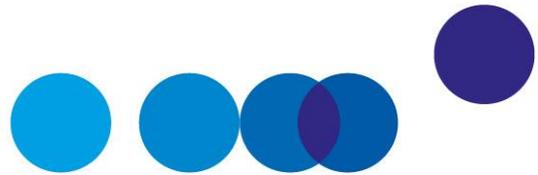
Concernant la modélisation, la plupart des mesures (taxes, bonus-malus, subventions, réglementations) peuvent être intégrées aux modèles macro-environnementaux tels que ThreeMe et Imacim. Plusieurs dimensions importantes jouant sur l'efficacité des instruments sont cependant omises, ce qui appelle à des compléments méthodologiques :

4. Puisque les modèles ne disposent que d'un ménage représentatif, la prise en compte des effets régressifs des instruments et des mécanismes redistributifs n'est pas satisfaisante (voir le rapport thématique [Enjeux redistributifs](#)). Pour apprécier l'impact des mesures sur le pouvoir d'achat des déciles de revenus, il pourrait être bénéfique de coupler les modèles avec des modules de désagrégation comme Prometheus ou Matisse. Certaines mesures ont également des effets comportementaux sur les ménages (labels, mesures informationnelles), que la modélisation fruste des modèles macroéconomiques ne permet pas de prendre en compte (voir le rapport thématique [Sobriété](#)).
5. L'impact quantitatif d'une mesure va dépendre de la crédibilité qui est accordée à celle-ci et du signal à l'action en réponse. Cette crédibilité peut être facilitée par des outils de pilotage public (Stratégie française énergie climat - SFEC), de coordination sectorielle privée (Feuilles de route sectorielles de la décarbonation dites « article 301 »), par des trajectoires de baisse de dépenses défavorables à la décarbonation (budget vert) et des négociations pour une tarification minimale du carbone. Modéliser les effets de tels outils reviendrait à définir des hypothèses sur les anticipations des agents économiques et la crédibilité de l'action publique. Des exemples d'évaluation consisteraient à étudier et à comparer des scénarios où une ou plusieurs mesures seraient appliquées de manière plus ou moins ordonnée ou retardée, en tenant compte de la crédibilité que leur accordent les ménages et les entreprises.
6. La prise en compte du scénario international est nécessaire pour analyser les conséquences de la mise en œuvre ou non d'une transition dans nos pays partenaires (voir le rapport thématique [Compétitivité](#) pour les dimensions internationales de la transition), mais également pour comprendre l'impact de mesures coordonnées entre plusieurs pays (par exemple, les standards internationaux). En matière de modélisation, un modèle multirégional serait particulièrement adapté, dans lequel une mesure serait mise en place dans plusieurs pays simultanément¹ ou de manière différée. Dans le cas d'un modèle-pays unique, il conviendrait alors de calibrer les variables du reste du monde pour rendre compte de l'application des mesures à l'étranger.

¹ Par exemple, Chateau *et al.* (2022) modélisent plusieurs mesures de décarbonation (taxe carbone, tarif d'achat, bonus-malus, réglementation), chacune mise en œuvre simultanément dans les pays du G7, de l'UE, l'Inde et la Chine. Chakraborty S., Lala C. et Pollin R. (2022), [Job Creation Estimates Through Proposed Inflation Reduction Act. Modeling Impacts of Climate, Energy, and Environmental Provisions of Bill](#), Political Economy Research Institute, University of Massachusetts Amherst, août.



ANNEXES



ANNEXE 1

REVUE DE LITTÉRATURE DES ÉVALUATIONS EX ANTE DE L'IMPACT MACROÉCONOMIQUE DE L'INFLATION REDUCTION ACT

L'Inflation Reduction Act (IRA) est une loi, promulguée en août 2022, visant notamment à réduire les coûts de santé pour les ménages, favoriser la sécurité énergétique et la lutte contre le changement climatique, réduire le déficit public et rendre l'impôt plus juste. Le volet « énergie et climat » consiste en une augmentation des dépenses publiques estimée à 391 milliards de dollars, non plafonnée, sur la période 2022-2031, pour développer la production de technologies vertes (par exemple, voitures électriques) et décarboner le secteur énergétique. Deux tiers de ce montant sont alloués à des crédits d'impôt à destination des entreprises pour soutenir l'investissement et la production verts, et des ménages américains pour les inciter à investir dans l'efficacité énergétique et à acheter des véhicules électriques. Le tiers restant abonde des programmes fédéraux permettant l'adoption de technologies propres, via les marchés publics ou des subventions.

Six évaluations *ex ante* de l'impact sur l'activité et/ou l'emploi, portant sur les mesures de décarbonation seules ou sur l'ensemble de l'IRA, ont été réalisées (voir Annexe 2 pour le détail), à partir des trois méthodes suivantes :

- *Tables des entrées-sorties* : elles détaillent les relations entre les différents secteurs d'activité et entre différentes variables économiques (production, consommations intermédiaires ou emplois), à une date donnée, de sorte à pouvoir inférer les impacts directs dans un secteur donné et indirects par les connexions intersectorielles. Chaque mesure a été modélisée sous la forme de dépenses publiques supplémentaires, avec un effet levier sur la dépense privée, pour calculer l'impact sur l'emploi.
- *Modèles technico-économiques sectoriels* : ils proposent une représentation fine et détaillée de différents secteurs d'activité (notamment des transports, de la production et de la distribution d'électricité, de la construction et de l'industrie). Ces modèles peuvent être couplés via des tables des entrées-sorties ou un modèle macroéconomique,

pour tenir compte des effets indirects et de bouclage intersectoriel. Les mesures ont été modélisées directement par des variables exogènes équivalentes (subventions dont les crédits d'impôt, coût marginal d'abattement, taxation, ajustement des émissions carbone) ou indirectement via des variables permettant de répliquer les effets attendus (par exemple, par des signaux-prix fictifs pour modéliser l'ajustement de la production et de la consommation énergétiques), selon des méthodes proches de celles proposées par ThreeME, décrites ci-dessus. Ces modèles ont principalement été utilisés pour inférer l'impact de l'IRA sur l'emploi.

- *Modèles macroéconomiques* : ils proposent une représentation synthétique des interactions économiques entre les ménages, les entreprises, les administrations publiques, ainsi qu'avec le reste du monde, permettant de tenir compte des effets indirects et de bouclage dans un cadre cohérent. Chaque mesure a été modélisée par des variables exogènes visant à en répliquer les montants ou les effets attendus (investissement public, transferts forfaitaires aux ménages, ajustement des coûts de production, des prix, de la demande adressée aux entreprises ou de la production), dans une approche analogue aux évaluations pouvant être réalisées avec des modèles du type Mésange, ThreeME ou Imaclim-R. Ces modèles ont pu être couplés avec des modèles technico-économiques pour affiner le calcul des chroniques de chocs. Ils ont été utilisés pour évaluer l'impact de l'IRA sur l'activité et l'emploi.

Dans le cas de l'utilisation de modèles (technico-économiques ou macroéconomiques), l'impact de l'IRA est comparé à un scénario de référence agrégeant diverses lois et mesures prises jusqu'à une date donnée, généralement début 2021. Cette approche est analogue à l'évaluation *ex ante* de l'impact macroéconomique de la SNBC 2, où un scénario dit « avec mesures supplémentaires », permettant de respecter les objectifs de décarbonation, est comparé à un scénario « avec mesures existantes », agrégeant l'ensemble des mesures de décarbonation prises jusqu'en 2017.

Les évaluations des mesures de décarbonation seules font état d'un impact majoritairement positif, mais contenu, sur l'activité et l'emploi à l'horizon 2030 (voir Tableau A1). Selon les mesures modélisées, elles concluent à un rehaussement de l'activité entre 0,6 et 0,9 point de PIB. Seule l'étude de Diamond (2022), qui tient compte de l'ensemble des mesures de l'IRA, dont les hausses de taxes, estime un impact négatif de l'ordre de - 0,1 point de PIB. L'emploi augmenterait entre + 0,9 et + 1,7 million, avec d'importantes réallocations sectorielles (destruction d'emplois dans les secteurs des énergies fossiles, largement compensée par des créations dans la construction et les industries manufacturières).

Tableau A1 – Synthèse des évaluations *ex ante* de l'impact sur l'activité et l'emploi de l'IRA à l'horizon 2030

Article	Méthode de modélisation	Mesures de l'IRA couvertes	Impact sur l'activité (% en écart au scénario de référence)	Impact sur l'emploi (en millions d'emplois en écart au scénario de référence)
Chakraborty <i>et al.</i> (2022) ¹	Table des entrées-sorties	Mesures de dépenses en décarbonation	Non mesuré	+ 0,9 M
Ashmoore <i>et al.</i> (2022) ²	Modèles technico-économiques	Mesures de dépenses et de recettes en décarbonation	+ 0,6 à + 0,8 pt de PIB	+ 1,2 M à +1,3 M
Diamond (2022) ³	Modèle macroéconomique	Ensemble des mesures de dépenses et de recettes	- 0,1 pt de PIB	Non mesuré
Farbes <i>et al.</i> (2022) ⁴	Modèles technico-économiques	Mesures de dépenses et de recettes en décarbonation	Non mesuré	+ 1,7 M
Foster <i>et al.</i> (2023) ⁵	Modèles technico-économiques et macroéconomique	Ensemble des mesures de dépenses et de recettes	+ 0,9 pt de PIB	+ 1,5 M
Maye <i>et Mazewski</i> (2023) ⁶	Table des entrées-sorties	Mesures de dépenses et de recettes en décarbonation	+ 0,7 pt de PIB	+ 1 M

Source : auteurs

¹ Chakraborty S.*et al.* (2022), [Job Creation Estimates Through Proposed Inflation Reduction Act](#), *op.cit.*

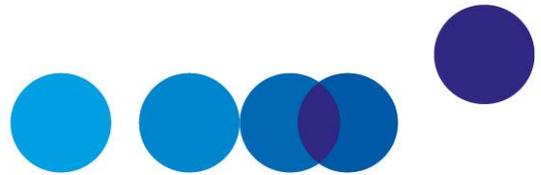
² Ashmoore O., Gopal A., Mahajan M., Orvis R. et Rissman J. (2022), « [Update inflation reduction act modeling using the energy policy simulator](#) », *op. cit.*

³ Diamond J. (2022), « [Macroeconomic Effects of the Inflation Reduction Act](#) », Working Paper, Baker Institute for public policy, Rice University, août.

⁴ Farbes J., Jenkins J., Jones R., Mayfield E., Patankar N., Schivley G. et Xu Q. (2022), « [Preliminary Report: The Climate and Energy Impacts of the Inflation Reduction Act of 2022](#) », *Zero Lab*, Princeton University, août.

⁵ Foster D., Maranville A. et Savitz S. F. (2023), « [Jobs, Emissions, and Economic Growth. What the Inflation Reduction Act Means for Working Families](#) », *Energy Futures Initiative*, Policy Paper, janvier.

⁶ Maye A. et Mazewski M. (2023), « [Economic Impacts of the Inflation Reduction Act's Climate and Energy Provisions](#) », *Data for Progress*, janvier.



ANNEXE 2

COMPARAISON DE LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DE DIFFÉRENTES MESURES DE DÉCARBONATION (CHATEAU *ET AL.*, 2022)

Chateau *et al.* (2022) compare plusieurs combinaisons de mesures réglementaires ou tarifaires réduisant de 20 % les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2030 dans différents pays grâce au modèle macroéconomique mondial, dynamique et multi-sectoriel IMF-ENV. La performance macroéconomique (PIB, dépenses, niveaux de prix, parts de marché) de mesures de décarbonation appliquées conjointement par les pays du G7, la Chine, l'Inde et l'UE est simulée. Quatre scénarios sur le secteur de l'énergie sont évalués – une tarification du carbone, une réglementation directe des émissions¹, un tarif d'achat pour les énergies solaire et éolienne (*feed-in tariffs*)² et un bonus-malus³ (*feebates*).

Chaque mesure est évaluée à objectif équivalent de réduction des émissions et impact neutre sur les finances publiques *ex post*⁴, en comparaison avec un contrefactuel sans mesure de décarbonation.

Il en ressort qu'une taxe carbone est la mesure la plus inflationniste pour les prix de l'énergie, contrairement au tarif d'achat qui les diminue fortement. Les prix augmentent dans les cas de la réglementation et du bonus-malus car le secteur bascule vers des sources d'énergie en moyenne plus coûteuses, mais avec un impact moindre que par la tarification du carbone (Graphique A1).

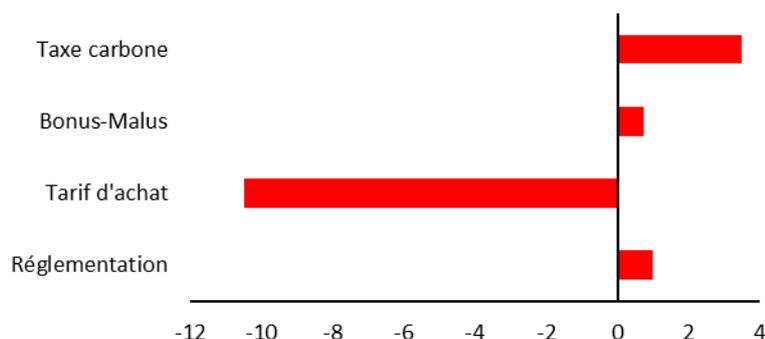
¹ Un seuil croissant de sources non carbonées est imposé dans la contrainte de bouquet énergétique.

² Un prix d'achat est garanti aux producteurs.

³ Une mesure budgétairement neutre prélève des taxes sur les énergies très émissives et subventionne les énergies peu émissives.

⁴ La recette (respectivement, le coût) des mesures est compensée par une augmentation (respectivement, une diminution) de la taxation des revenus du travail de sorte à rendre les mesures budgétairement neutres. La régulation et le bonus-malus étant budgétairement neutres par nature, ils ne nécessitent pas de financement mais modifient la base taxable de l'économie. Les taux d'imposition du travail sont alors modifiés de sorte à ne pas impacter les recettes gouvernementales.

**Graphique A1 – Impact en 2030 des mesures de décarbonation sur les prix de l'énergie
(en % d'écart au compte central)**



Note : réduction de 20 % des émissions de GES avec recyclage ou financement par variation du taux de cotisations salariales.

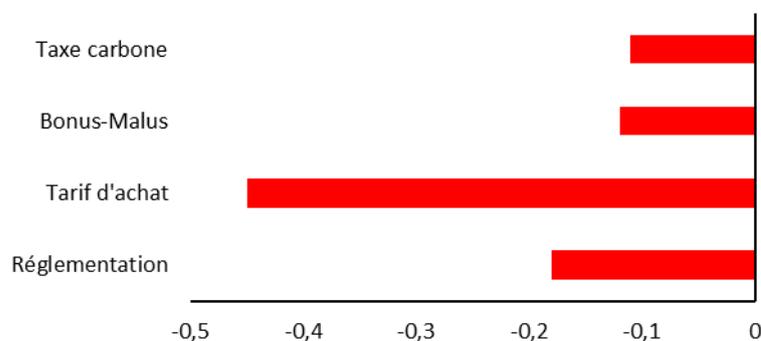
Champ : pays du G7.

Source : Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « *Climate Policy Options: A Comparison of Economic Performance* », IMF Working Papers, décembre

En matière d'impact sur l'activité, le recyclage de la taxe carbone ne permet pas de compenser totalement le choc d'offre négatif, qui est comparable au final aux effets récessifs d'une réglementation ou d'un bonus-malus. La subvention des prix par le tarif d'achat est quant à elle tellement coûteuse que l'effet récessif de son financement dépasse le choc d'offre positif de la subvention, ce qui rend cette mesure au final encore plus récessive que les trois autres (Graphique A2).

Le tarif d'achat est la mesure qui impacte le moins la compétitivité des entreprises des secteurs intensifs en énergie ou exposés au commerce international (*energy intensive or trade exposed* - EITE, voir Graphique A3).

Graphique A2 – Impact en 2030 des mesures de décarbonation dans le secteur de l'énergie sur le PIB réel (en % d'écart au compte central)

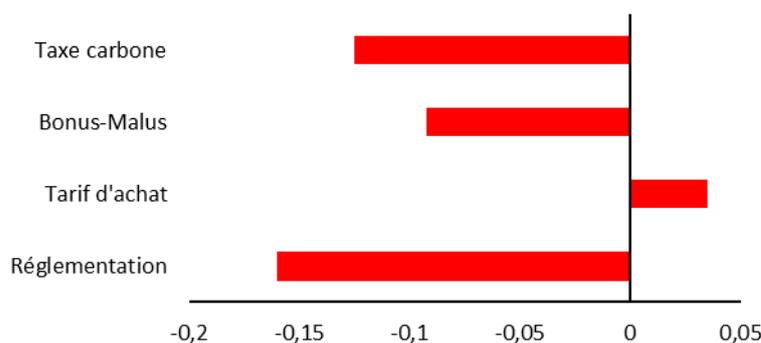


Note : réduction de 20 % des émissions de GES avec recyclage ou financement par variation du taux de cotisations salariales.

Champ : pays du G7.

Source : Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « *Climate Policy Options: A Comparison of Economic Performance* », IMF Working Papers, décembre

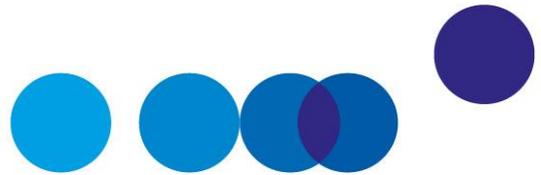
Graphique A3 – Impact en 2030 des mesures de décarbonation dans le secteur de l'énergie sur les parts de marché des secteurs EITE (en % d'écart au compte central)



Note : réduction de 20 % des émissions de GES avec recyclage ou financement par variation du taux de cotisations salariales.

Champ : pays du G7.

Source : Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « *Climate Policy Options: A Comparison of Economic Performance* », IMF Working Papers, décembre



ANNEXE 3

AUTRES ÉVALUATIONS DE MESURES DE DÉCARBONATION

D'après Bertram *et al.* (2020)¹, les modèles GCAM, MESSAGEix-GLOBIOM et REMIND-MagPIE pourraient modéliser l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie et les transports, l'électrification des bâtiments et la séquestration du carbone dans l'industrie. Ils pourraient aussi modéliser la protection et la gestion des forêts, ainsi que les limites d'émission dans l'agriculture. Cependant, aucun détail n'est donné pour une telle modélisation.

Eom *et al.* (2015)² effectuent l'analyse comparative en matière de réduction d'émissions de GES de différents scénarios de déploiement des technologies de production d'électricité dans les modèles DNE21+, GCAM, Imaclim, IMAGE, MERGE-ETL, MESSAGE, POLES, REMIND et WITCH.

Le modèle technico-économique NEV-RES de l'institut néerlandais PBL a permis en 2016 d'évaluer l'impact environnemental d'une panoplie de mesures réglementaires telles que l'exigence de niveaux minimaux d'efficacité énergétique pour les logements locatifs, l'obligation d'utiliser des pneus énergétiquement efficaces ou encore l'interdiction de méthaniser d'autres produits que le fumier.

D'après l'OCDE (2022)³, des normes de bouquet énergétique, des cibles de capacité, des normes d'émission, des normes d'efficacité énergétique, et la protection des terres sont modélisables dans AIM-Hub, GEM-E3, GRACE, Imaclim, MESSAGE-GLOBIOM, SNOW GL HH, WEGDYN ou WITCH. Le modèle *Energy Policy Simulator* (EPS) modélise des normes d'efficacité énergétique et de réduction d'émissions dans les secteurs industriels,

¹ Bertram C., Hilaire J., Kriegler E., Beck T., Bresch D. N., Clarke L., Yu S. *et al.* (2021), [NGFS Climate Scenarios Database](#), *op.cit.*

² Eom J., Edmonds J., Krey V., Johnson N., Longden T., Luderer G., Riahi K. et Van Vuuren D. P. (2015), « [The impact of near-term climate policy choices on technology and emission transition pathways](#) », *op. cit.*

³ Pisu M., D'Arcangelo F. M., Elgouacem A., Kruse T. et Hemmerlé Y. (2023), « [Options for assessing and comparing climate change mitigation policies across countries](#) », *op. cit.*

des normes d'efficacité énergétique, de mobilité urbaine et l'électrification dans le transport, la mise en arrêt ou l'efficacité énergétique des centrales à charbon et le soutien aux ENR dans l'énergie, les normes sur les codes de construction, la rénovation énergétique dans le bâtiment, et la reforestation.

Enfin, Johansson *et al.* (2015)¹ modélisent, dans le cadre de l'étude de l'impact d'une action climatique sur la Chine et l'Inde, les effets d'une mesure d'efficacité énergétique dans les modèles TIMER, DART, CEEPA, IEG-CGE et MARKAL.

D'autre part, plusieurs évaluations macroéconomiques de l'Inflation Reduction Act américain (voir Annexe 1) modélisent l'ajustement de la production et de la consommation énergétique, le coût marginal d'abattement, l'ajustement des émissions, l'ajustement des coûts de production, des prix, de la demande adressée aux entreprises ou de la production. Certaines de ces variables sont explicitement intégrées dans les modèles de manière exogène (par exemple, coût marginal d'abattement, émissions carbone, fiscalité), de sorte à pouvoir être modifiées directement, tandis que d'autres variables peuvent être mobilisées pour répliquer indirectement les effets attendus de certaines mesures (via par exemple des signaux-prix fictifs pour ajuster la demande ou la production). Ashmoore *et al.* (2022)², modélisent dans EPS (agrégats de modèles technico-économiques), notamment la diminution des émissions pour le ciment, l'acier et le fer au prorata du montant dépensé et du coût de décarbonation dans leur secteur industriel.

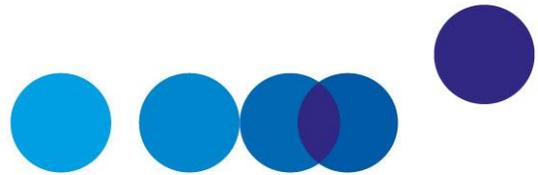
Enfin, d'après D'Arcangelo *et al.* (2022)³, AIM-Hub, GRACE et WEGDYN peuvent modéliser une subvention pour les entreprises et les consommateurs dans le secteur agricole. De son côté, l'IRA met en place une subvention dont des crédits d'impôt, et de l'investissement public (voir Annexe 1) ; Ashmoore *et al.* (2022)⁴ modélisent ainsi, pour le bâtiment, le soutien à l'investissement dans la construction (effet de levier de 3,4 par dollar dépensé) ; pour l'industrie, le financement de crédit dans la production de biens pour réseau électrique (calcul d'un coût moyen par MW-mile) ; pour l'énergie, des crédits d'impôt afin de substituer dans la production d'hydrogène, du gaz naturel et/ou du méthane vers le nucléaire et/ou le renouvelable, de modifier le bouquet énergétique de certaines industries en fonction des scénarios et d'augmenter la production électrique renouvelable correspondante.

¹ Johansson D. J., Lucas P. L., Weitzel M., Ahlgren E. O., Bazaz A. B., Chen W. *et al.* (2014), « [Multi-model comparison of the economic and energy implications for China and India in an international climate regime](#) », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 20, février, p. 1335-1359.

² Ashmoore O., Gopal A., Mahajan M., Orvis R. et Rissman J. (2022), « [Update inflation reduction act modeling using the energy policy simulator](#) », *op. cit.*

³ D'Arcangelo F. M., Johansson A., Levin I., Pagani A. et Pisu M. (2022), « [A framework to decarbonise the economy](#) », *op. cit.*

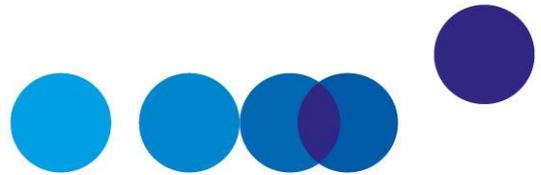
⁴ Ashmoore O., Gopal A., Mahajan M., Orvis R. et Rissman J. (2022), « [Update inflation reduction act modeling using the energy policy simulator](#) », *op. cit.*



BIBLIOGRAPHIE

- Ademe (2022), [Analyse des conditions de reprise d'une valeur équitable du carbone](#). *État des lieux des arguments et examen comparé des options de politique publique*, « Expertises », juillet.
- Alla A. (2023), « [Quel effet du marché carbone européen sur la productivité des entreprises ?](#) », *Trésor-Éco*, n° 323, Direction générale du Trésor, février.
- Ashmoore O., Gopal A., Mahajan M., Orvis R. et Rissman J. (2022), « [Update inflation reduction act modeling using the energy policy simulator](#) », *Energy Innovation Policy and Technology LLC*, août.
- Bertram C., Hilaire J., Kriegler E., Beck T., Bresch D. N., Clarke L., Yu S. *et al.* (2021), [NGFS Climate Scenarios Database](#), Technical Documentation, version 2.2, septembre.
- Bertram C., Luderer G., Pietzcker R. C., Schmid E., Kriegler E. et Edenhofer O. (2015), « [Complementing carbon prices with technology policies to keep climate targets within reach](#) ». *Nature climate change*, 5(3), février, p. 235-239.
- CGDD, DLF et DGT (2022), [Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#), octobre.
- Chakraborty S., Lala C. et Pollin R. (2022), [Job Creation Estimates Through Proposed Inflation Reduction Act. Modeling Impacts of Climate, Energy, and Environmental Provisions of Bill](#), Political Economy Research Institute, University of Massachusetts Amherst, août.
- Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « [Climate Policy Options: A Comparison of Economic Performance](#) », *IMF Working Papers*, International Monetary Fund, décembre.
- D'Arcangelo F. M., Johansson A., Levin I., Pagani A. et Pisu M. (2022), « [A framework to decarbonise the economy](#) », *OECD Economic Policy Paper*, n° 31, février.
- Dechezleprêtre A., Fabre A. et Stantcheva S. (2022), « [Les Français et les politiques climatiques](#) », *Les notes du conseil d'analyse économique*, n° 73, juillet.
- Dechezleprêtre A., Nachtigall D. et Venmans F. (2018), « [The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance](#) », Document de travail du département d'économie, n° 1515, OCDE, décembre.
- Diamond J. (2022), « [Macroeconomic Effects of the Inflation Reduction Act](#) », *Working Paper*, Baker Institute for public policy, Rice University, août.

- Eom J., Edmonds J., Krey V., Johnson N., Longden T., Luderer G., Riahi K. et Van Vuuren D. P. (2015), « [The impact of near-term climate policy choices on technology and emission transition pathways](#) », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 90, p. 73-88, janvier.
- Farbes J., Jenkins J., Jones R., Mayfield E., Patankar N., Schivley G. et Xu Q. (2022), « [Preliminary Report: The Climate and Energy Impacts of the Inflation Reduction Act of 2022](#) », *Zero Lab*, Princeton University, août.
- Foster D., Maranville A. et Savitz S. F. (2023), « [Jobs, Emissions, and Economic Growth—What the Inflation Reduction Act Means for Working Families](#) », *Energy Futures Initiative*, Policy Paper, janvier.
- Hawkins-Pierot J. T. et Wagner K. R. H. (2022). « [Technology Lock-In and Optimal Carbon Pricing](#) », Working Paper, Cesifo, mai.
- Johansson D. J., Lucas P. L., Weitzel M., Ahlgren E. O., Bazaz A. B., Chen W. et al. (2014), « [Multi-model comparison of the economic and energy implications for China and India in an international climate regime](#) », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 20, février, p. 1335-1359.
- Kalkuhl M., Edenhofer O. et Lessmann K. (2013), « [Renewable energy subsidies: Second-best policy or fatal aberration for mitigation?](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 35(3), février, p. 217-234.
- Kalkuhl M., Edenhofer O. et Lessmann K. (2012), « [Learning or lock-in: Optimal technology policies to support mitigation](#) », *Resource and Energy Economics*, vol. 34(1), p. 1-23.
- Lohmann Paul M., Gsottbauer E., Doherty A. et Kontoleon A. (2022), « [Do carbon footprint labels promote climatarian diets? Evidence from a large-scale field experiment](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 114, juin.
- Maye A. et Mazewski M. (2023), « [Economic Impacts of the Inflation Reduction Act's Climate and Energy Provisions](#) », *Data for Progress*, janvier.
- Pisu M., D'Arcangelo F. M., Elgouacem A., Kruse T. et Hemmerlé Y. (2023), « [Options for assessing and comparing climate change mitigation policies across countries](#) », Document de travail du département d'économie, n° 1749, OCDE, février.
- Weitzel M., Vandyck T., Los Santos L. R., Tamba M., Temursho U. et Wojtowicz K. (2022), « [A comprehensive socio-economic assessment of EU climate policy pathways](#) ». *Ecological Economics*, 204, 107660, novembre.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaires de rédaction

Valérie Senné, Gladys Caré

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

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



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

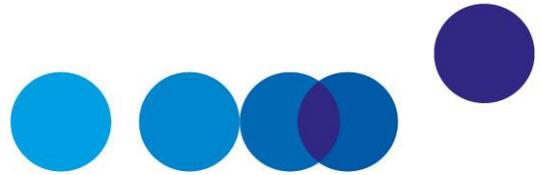
Bien-être

Rapport thématique

Didier Blanchet (coord.)

RAPPORT

MAI
2023



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Bien-être

Rapport thématique

Coordinateur

Didier Blanchet (chaire Mesures de l'économie, PSE)

Craig Pesme (chaire Mesures de l'économie, PSE)
et Aude Pommeret (université Savoie Mont Blanc et France Stratégie)



Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

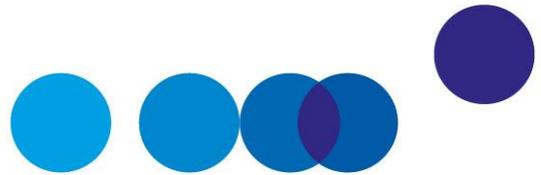
Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

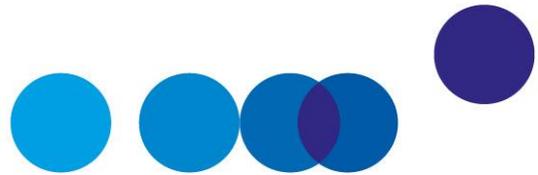
Ce rapport thématique consacré à l'impact du changement climatique sur le bien-être était placé sous la direction de Didier Blanchet (chercheur associé à la chaire Mesures de l'économie de l'École d'économie de Paris-PSE), en collaboration avec Craig Pesme (doctorant de la chaire Mesures de l'économie) et Aude Pommeret (université Savoie Mont Blanc et France Stratégie).

Ce travail a bénéficié des retours et de l'expertise des contributeurs suivants : Anne Epaulard (université Paris-Dauphine-PSL et France Stratégie), Marc Fleurbaey (PSE), Xavier Timbeau (OFCE) et Mathilde Viennot (France Stratégie).



SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	7
Chapitre 1 – Qu’attendre des indicateurs usuels de niveau de vie ?	9
1. Des indicateurs qui participent de la mesure du bien-être	9
2. De quels coûts en bien-être le revenu réel rendra-t-il compte ?	13
3. Autres apports et autres limites des indicateurs monétaires	21
3.1. La valorisation monétaire des services publics verdissants.....	22
3.2. Verdissement et comptes de patrimoine	23
3.3. Verdissement et déplacements de la frontière de la production.....	25
3.4. Au-delà de la moyenne : désagrégation et mesure des inégalités.....	26
Chapitre 2 – Au-delà des dimensions monétaires : quels autres arguments du bien-être et comment en synthétiser les évolutions ?	29
1. Valoriser les co-bénéfices non monétaires de la transition	32
2. Transition et bien-être avec des préférences évolutives	43
Conclusion	51
ANNEXES	
Annexe 1 – Revenu réel et bien-être : quelle connexion ?	57
Annexe 2 – Revenu équivalent à préférences fixes	61
Annexe 3 – Revenu équivalent à préférences variables	65
Bibliographie	69



SYNTHÈSE

Pour évaluer l'impact de la transition climatique sur le bien-être, on commence par examiner ce que pourront en dire les indicateurs usuels de niveau vie. Ceux-ci n'ont pas la prétention de mesurer le bien-être, mais ils visent néanmoins à en quantifier une composante. Débuter par cette composante est d'autant plus justifié que c'est à son niveau que devrait se manifester une part substantielle des coûts en bien-être imposés par le verdissement – à savoir les restrictions ou les réorientations de la consommation que ce dernier rendra nécessaire. On examine ces indicateurs en distinguant plusieurs vecteurs du verdissement : le progrès technique verdissant et les interventions publiques pouvant prendre la forme de subventions, de taxes ou de réglementations visant soit les entreprises soit directement les ménages.

Les indicateurs usuels de niveau de vie mesureront les effets de ces vecteurs de verdissement quand ils affecteront soit les revenus nominaux des ménages soit la structure des prix et leur niveau général, après prise en compte de la déformation des structures de consommation. Par exemple, l'effet d'une taxe pigouvienne visant les ménages sera bien répercuté, y compris l'éventuelle redistribution de ce qu'elle rapportera. Seront également retracés les effets des taxes et des réglementations imposées aux entreprises, si les surcoûts qu'elles génèrent sont répercutés par ces entreprises sur les salaires ou les profits qu'elles distribuent ou bien sur leurs prix de vente. Ces surcoûts répercutés par les entreprises pourront également intégrer les coûts de remplacement de leur capital productif brun par du capital vert. Les effets des changements technologiques seront de même captés soit au numérateur (valeurs), soit au dénominateur (prix) du revenu réel : les revenus nominaux capteront notamment le solde entre les nouveaux revenus générés par le surcroît d'activités vertes et les pertes de revenu résultant de la disparition du revenu d'activités brunes.

En revanche, ces indicateurs ne mesureront que partiellement ou pas du tout les effets en bien-être des contraintes réglementaires directement appliquées aux ménages, de même que la dépréciation des actifs bruns dont ces ménages sont directement détenteurs. Pour ce qui est de cette dépréciation, elle ne sera repérable qu'au niveau de leur compte de capital, et au mieux pour la composante immobilière de ce capital.

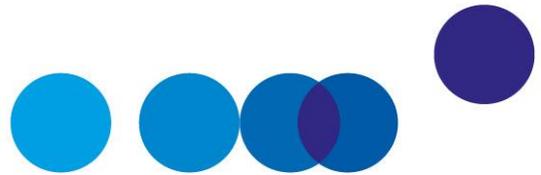
Ainsi, même si la statistique usuelle des revenus et des prix devrait rendre compte d'une bonne partie des effets du verdissement sur les dimensions économiques du bien-être, certains de ses aspects pourraient lui échapper et devront donc faire l'objet d'une attention particulière. Par ailleurs, cette approche ignore par nature l'ensemble des co-bénéfices non monétaires de la transition, qui peuvent en compenser les coûts économiques. Et le bien-être peut enfin évoluer plus ou moins favorablement à trajectoire de consommation donnée, selon que cette trajectoire est associée ou non à des modifications de préférences. Par exemple, un consommateur attachant de moins en moins d'importance aux produits bruns sera moins affecté par la restriction de leur usage que si ses préférences restent inchangées, d'une façon qui échappera aux indicateurs classiques ou qu'ils ne mesureront que de façon incomplète.

On examine alors les options disponibles pour une vision plus large du bilan en bien-être de la transition.

Pour ce qui est des co-bénéfices non monétaires, l'approche par tableaux de bord se contente d'y attacher autant d'indicateurs additionnels que de dimensions à prendre en compte, sans chercher à en dégager un message d'ensemble. Leur utilisation implique néanmoins une agrégation implicite, donc peu transparente. Les indicateurs composites proposent des messages d'ensemble, mais selon des principes d'agrégation dont rien ne garantit qu'ils reflètent de vraies préférences individuelles ou sociales. Pour une vision globale, les deux approches les plus pertinentes sont soit la mesure directe du bien-être subjectif, soit l'imputation de valeurs monétaires aux dimensions non monétaires du bien-être, qui soient en mesure de refléter l'importance que leur attribuent les agents. Cette dernière approche débouche sur des indicateurs de revenu équivalent ou élargi, dont la construction peut d'ailleurs mobiliser les données de bien-être subjectif, parmi d'autres informations renseignant sur les préférences des agents.

C'est avec ces deux mêmes approches du bien-être subjectif ou du revenu élargi qu'on aborde la question des changements de préférences. L'une et l'autre apportent des éléments de réponse, mais nécessairement plus relatifs que ceux qu'on peut avoir dans un monde à préférences fixes. Cette question devra être approfondie, puisque ces changements de préférence sont à la base des scénarios de sobriété choisie pouvant rendre la transition à la fois plus rapide et plus acceptable.

Ceci étant, ce ne sont pas les co-bénéfices immédiats ou le rôle amortisseur des changements de préférence qui doivent principalement contrebalancer les coûts économiques de la transition, mais les bénéfices escomptés à plus long terme au profit des générations futures. C'est l'objet des indicateurs de soutenabilité, non traités dans ce document.



INTRODUCTION

Omission de nombreux déterminants du bien-être et absence de prise en compte des problématiques environnementales sont, de longue date, les deux principaux griefs adressés aux indicateurs macroéconomiques usuels, et tout particulièrement le PIB. C'est pour y répondre que s'est développée depuis plus d'un demi-siècle la recherche d'indicateurs susceptibles de le compléter ou de le remplacer. Elle a donné lieu à une abondante littérature¹. Celle-ci, toutefois, renonce de plus en plus souvent à l'ambition d'un indicateur de substitution unique, en raison du caractère extrêmement multidimensionnel du problème à traiter. Qu'il s'agisse du bien-être courant ou de sa soutenabilité, c'est un très grand nombre de dimensions qui sont à considérer et à synthétiser. Il y a autant de façons de le faire que de jugements de valeur possibles sur ce qui fait la qualité de la vie présente et future, et donc autant de définitions possibles de l'objet à mesurer.

Cette indétermination invite à ne pas attaquer le sujet des effets de la transition climatique sur le bien-être par une définition formelle directe de ce dernier, qu'on serait bien en peine de fournir. Cette note va plutôt en proposer une approche progressive, en deux temps. Le premier temps sera d'explorer ce que peuvent déjà en dire les indicateurs économiques usuels de pouvoir d'achat ou de niveau de vie, aussi bien macro que microéconomiques, car, même s'ils ne sont pas des indicateurs de bien-être, ils visent et servent bien à en éclairer une part significative². Il est d'autant plus légitime de commencer par ces indicateurs que c'est dans leur domaine que devrait se manifester une part importante des coûts de la transition et des restrictions des possibilités de consommation qu'elle rendra nécessaire, dont on anticipe des effets négatifs sur le bien-être. Dans le premier chapitre, on se posera donc la question de savoir si ces coûts seront intégralement bien mesurés et synthétisés, en fonction des canaux par lesquels ils apparaîtront, ou bien s'il y a un risque qu'ils soient sous-estimés.

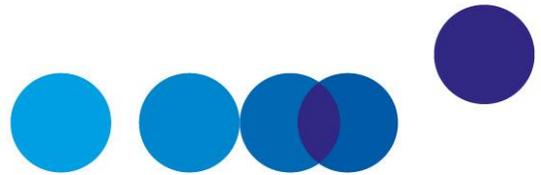
¹ Voir notamment Gadrey J. et Jany-Catrice F. (2016), *Les nouveaux indicateurs de richesse*, Paris, La Découverte ; Stiglitz J., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), *Richesse des nations et bien-être des individus*, Paris, Odile Jacob.

² Sur les relations entre comptabilité nationale et mesure du bien-être, voir notamment Vanoli A. (2022), *Une histoire de la comptabilité nationale*, Paris, La Découverte, coll. « Repères », ainsi que Schreyer P. (2016), « GDP and welfare », in Adler M. D. et Fleurbaey M. (dir.), *The Oxford Handbook of Well-Being and Public Policy*, Oxford, Oxford University Press.

C'est après ce premier tour d'horizon qu'on élargira la perspective aux dimensions non monétaires du bien-être, ce qui peut s'envisager de deux façons. Soit en mettant côte à côte toutes les informations qu'on considère pertinentes pour le bien-être, incluant à la fois déterminants monétaires et non monétaires : c'est l'approche des tableaux de bord. Soit en persévérant dans la direction de mesures plus synthétiques, davantage à même de donner une vue d'ensemble, malgré les difficultés de l'exercice.

Les deux options sont complémentaires, avec chacune ses avantages et inconvénients. C'est au niveau de l'utilisation que la première pose des problèmes car, *in fine*, les arbitrages auxquels on procède impliquent une agrégation implicite et donc peu transparente. La difficulté de la seconde est de proposer des principes d'agrégation à la fois explicites et pertinents. C'est sur cette difficulté qu'on se focalisera. L'ambition n'est pas de déboucher sur un indicateur ni même sur quelques indicateurs pouvant être produits sur le même rythme et mis sur le même plan que les statistiques usuelles. Ce qui sera présenté dans le deuxième chapitre sera beaucoup moins définitif que la discussion des indicateurs standards de niveau de vie du chapitre précédent. La question est de savoir si on peut proposer des éclairages utiles au débat social qui ne soient ni l'image trop éclatée que donnent les tableaux de bord, ni le type de synthèse arbitraire d'indices *ad hoc* sans fondements théoriques, comme en a souvent produit la littérature *beyond GDP*. Ceci suppose de résumer les évolutions des différentes variables fournies par les tableaux de bord d'une manière qui respecte les préférences des agents. Le problème est déjà difficile à préférences stables, il l'est encore plus lorsque les préférences sont évolutives. Or cette difficulté ne peut être éludée, puisque l'évolution des préférences dans un sens plus favorable à l'environnement est justement l'un des leviers sur lesquels on compte pour accélérer le verdissement de l'économie ou rendre son ressenti moins négatif. Il y a là un défi majeur aussi bien pour les mesures existantes que pour la recherche d'indicateurs alternatifs. On essaiera de voir s'il existe des moyens d'y répondre.

Sur tous ces sujets, nous adopterons une optique d'évaluation du bien-être courant. Il s'agit d'évaluer les coûts de la transition vers une économie plus verte et d'étudier leur sensibilité aux bénéfices constatables sur d'autres axes qui pourraient les amplifier ou les amortir, mais tout cela sur l'horizon de relativement moyen terme qui est le champ exploré par la mission. Il est probable que, sur cette phase de transition, le bilan reste défavorable et que la problématique demeure celle de la répartition des coûts plutôt que du partage des bénéfices. Pour une vision davantage équilibrée du bilan coût-bénéfice de la transition, il convient d'y ajouter la perspective de plus long terme. C'est l'objet des indicateurs de soutenabilité puisque c'est la restauration de la soutenabilité qui devrait être le résultat final positif de la transition. Cette question-là débordait du strict champ de la mission et ne sera évoquée qu'en conclusion. Sa difficulté est d'avoir à reposer sur des prévisions d'émissions globales qui ne dépendent pas seulement des émissions françaises, mais aussi du bien-être et du niveau de vie futurs – pas seulement au niveau national –, encore plus problématiques que les mesures du bien-être ou du niveau de vie nationaux courants. Cependant, notre vision de la transition serait évidemment incomplète si elle ignorait cette dimension du sujet.



CHAPITRE 1

QU'ATTENDRE DES INDICATEURS USUELS DE NIVEAU DE VIE ?

1. Des indicateurs qui participent de la mesure du bien-être

Aborder le sujet du niveau de vie d'une population par ce qu'ont à en dire les indicateurs économiques usuels invite naturellement à se tourner vers le produit intérieur brut (PIB), mais aussi vers un certain nombre d'indicateurs de la comptabilité nationale plus directement pertinents, qui constituent de meilleurs points d'entrée pour un élargissement progressif aux autres dimensions du bien-être, et pour lesquels on dispose aussi de déclinaisons au niveau microéconomique.

On sait que le PIB correspond à la somme des valeurs ajoutées générées sur le territoire national par les unités productives qui y sont localisées. On peut le voir alternativement comme une façon de mesurer la production ou comme la mesure des revenus monétaires ou en nature qui sont générés par cette production. Le PIB est aussi comptablement égal à la somme des usages qui sont faits de ces ressources, c'est son approche par la demande finale, additionnant l'usage pour la consommation immédiate et pour l'investissement. Au sein de cet agrégat, une vision centrée sur l'utilité instantanée pourrait conduire à ne s'intéresser qu'à la part consommée de cet ensemble, celle vraiment génératrice d'utilité courante, alors que l'investissement ne sert qu'au bien-être futur. Le partage consommation-investissement est, de fait, au centre de la discussion de la soutenabilité, dans une vision élargie incluant aussi la consommation de capital naturel et l'investissement dans sa préservation et sa restauration, mais ce sujet sera ignoré ici. Pour l'essentiel, on laissera de côté cette question de l'arbitrage entre mobilisation du revenu pour la consommation courante et mobilisation du revenu pour la préparation de l'avenir.

En revanche, il est souhaitable de s'écarter quelque peu du PIB *stricto sensu* pour mieux coller à la mesure du revenu dont peuvent véritablement profiter les ménages. En comptabilité nationale, le passage se fait en plusieurs étapes. On passe d'abord du PIB au revenu national brut (RNB) en le corrigeant notamment des flux internationaux de revenus de la production, principalement les flux entrants et sortants de revenus du capital.

L'écart est cependant faible dans le cas de la France. L'étape la plus importante pour se rapprocher d'une notion de revenu pertinente pour les ménages est le passage à leur revenu disponible brut (RDB), qui fait masse de tout ce qui leur revient au final, sous forme de revenu du travail mais aussi du capital, net des prélèvements fiscaux et sociaux, mais augmenté des prestations monétaires versées en contrepartie de ces prélèvements. Un concept plus large que le RDB, le revenu disponible brut ajusté (RDBA) ajoute ensuite à ces transferts monétaires la part des transferts en nature qui sont individualisables, ne laissant de côté que les dépenses publiques totalement collectives et la part du revenu qui reste dans les entreprises, ce qu'on qualifie de profits non distribués. Pour mémoire, et plus étroite que le RDB est, à l'inverse, la notion de revenu arbitrageable qui retranche du RDB l'ensemble des dépenses dites pré-engagées, prises comme *proxy* de la notion de dépenses contraintes.

Pour être pertinentes en termes de bien-être, ces données macroéconomiques doivent évidemment être corrigées de la démographie et leurs évolutions sont à corriger de l'évolution des prix. Pour ce qui est de la démographie, le plus immédiat est de passer à une moyenne par habitant. Une correction supplémentaire consiste à aussi tenir compte de la façon dont la population est regroupée en ménages : c'est ce que fait le RDB par unité de consommation (UC) qui intègre les économies d'échelle permises par la vie en commun. C'est de ce concept de comptabilité nationale qu'on a un équivalent microéconomique calculable pour chaque ménage, le niveau de vie par unité de consommation, établi à partir des sources statistiques détaillées sur les revenus et la composition de ces ménages.

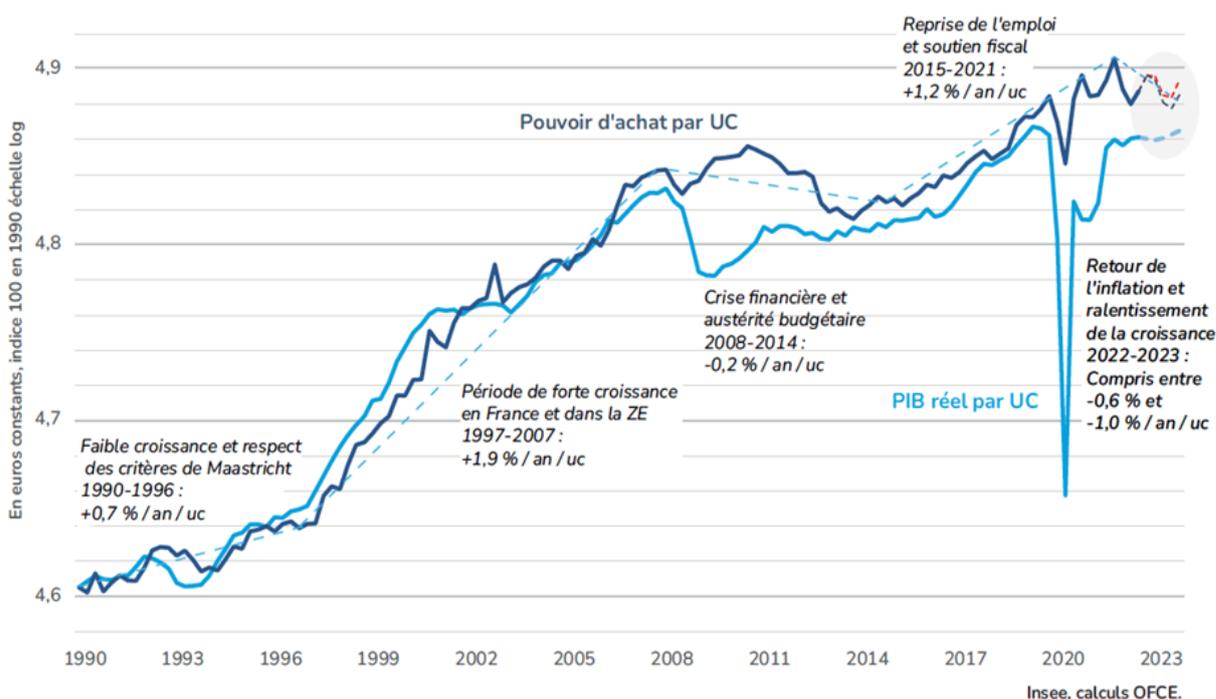
S'agissant des prix, l'évolution temporelle du RDB nominal comme de ce niveau de vie est déflatée par un indice qui, à quelques écarts de champ près, reproduit l'évolution de l'indice des prix à la consommation. Comme rappelé dans un encadré du rapport thématique *Inflation*¹ celui-ci est un indice chaîné. La hausse du prix de chaque bien ou service est pondérée par le poids de ce bien ou service dans la consommation totale de l'année précédente. Cette pondération est révisée chaque début d'année, en même temps qu'est revue la liste de biens pris en compte dans l'indice pour tenir compte de leur renouvellement. Lors de son introduction, un nouveau bien n'affecte pas l'évolution des prix. L'indice n'est affecté que par les évolutions de son prix après introduction.

Avec cette double prise en compte des prix et du nombre d'unités de consommation, la comptabilité nationale et la statistique des niveaux de vie débouchent sur des messages qui, contrairement à une idée répandue, ne sont en rien incompatibles avec ce qu'on sait du ressenti du ménage moyen. L'évolution du RDB/UC depuis une quinzaine d'années est bien cohérente avec le sentiment général d'une absence ou d'une très faible progression moyenne du niveau de vie, forcément synonyme de baisse pour au moins une partie de la population (voir Graphique 1).

¹ Voir France Stratégie (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Inflation*, rapport thématique coordonné par Stéphane Dees, mai.

C'est encore plus le cas si on s'intéresse aux déciles inférieurs, avec un niveau de vie moyen du premier décile qui n'a pratiquement pas progressé depuis le début des années 2000 (voir Graphique 2). Pour ce qui est du niveau de vie moyen, le redémarrage global qu'on a pu observer en deuxième moitié de décennie n'a pas suffi à effacer le souvenir du recul constaté sur la première moitié de la décennie, dans le sillage de la crise financière de 2008-2009. Le ménage moyen avait été protégé dans un premier temps du recul du PIB enregistré sur ces deux années, mais ses conséquences avaient fini par les affecter. On peut s'attendre au même genre de transmission au RDB pour les années qui viennent, en récupération des effets du choc Covid, que les soutiens publics ont beaucoup amorti dans un premier temps, mais d'une manière qu'il faut ensuite rattraper.

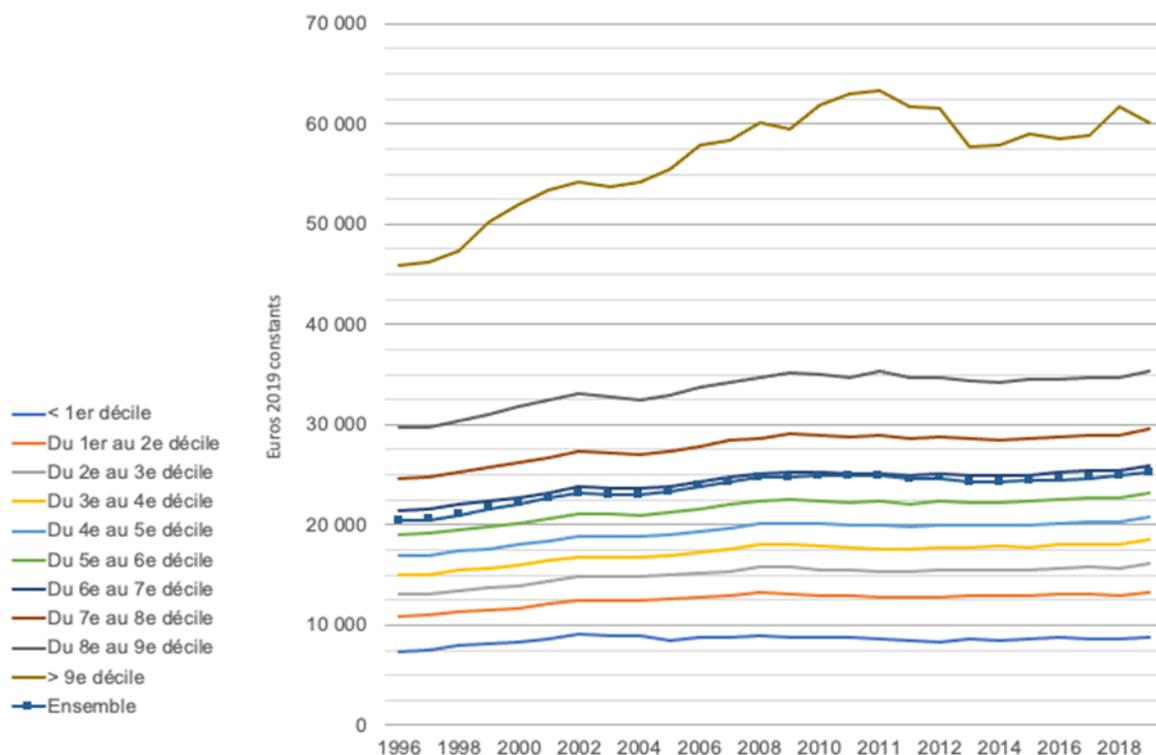
Graphique 1 – PIB et revenu disponible brut par unité de consommation



Source : Madec P., Plane M. et Sampognaro R. (2023), « Une analyse des mesures budgétaires et du pouvoir d'achat en France en 2022 et 2023 », Policy Brief OFCE, n° 112, février

La question qui se pose est alors de savoir si cette contribution du RDB ou des niveaux de vie à l'évolution du sentiment de bien-être continuera d'être bien mesurée dans les mêmes termes face aux changements structurels majeurs que devrait impliquer le verdissement. Pour s'en assurer, il est nécessaire d'entrer plus avant dans la façon dont ces indicateurs sont connectés à la notion plus large de bien-être.

Graphique 2 – Niveaux de vie moyens par tranches inter-déciles



Source : Insee

À cette fin, une modélisation élémentaire de cette connexion est proposée en [Annexe 1](#), lorsque le bien-être global dépend à la fois de consommations marchandes ou auxquelles on sait donner une valeur monétaire q_i et d'un certain nombre d'éléments non monétaires z_j . Le cadre proposé peut s'appliquer soit à l'agent représentatif des statistiques macroéconomiques, soit au niveau micro de l'agent individuel ou du ménage. On peut résumer l'idée en disant que le revenu réel évalué à prix chaînés peut effectivement être vu comme une des façons possibles de quantifier la contribution des q_i au bien-être global, d'une manière qui (a) croît comme ces q_i lorsque tous croissent au même rythme, et qui (b) pondère leurs croissances de manière cohérente avec les préférences lorsque ces croissances sont inégales. Ceci est fait en tenant compte de ce qu'on qualifie d'effets de substitution, le fait que des baisses de consommation de certains biens peuvent être compensées, à utilité constante, par des hausses de consommation d'autres biens. Ce qu'on approxime ainsi est ce que donnerait, si on pouvait le calculer directement, la déflation du RDB nominal par un indice de prix idéal dit « à utilité constante » (IUC), mesurant ce qu'il en coûte de maintenir un niveau d'utilité donné face à une évolution donnée du vecteur de prix. Par construction, ce mode de calcul du niveau de vie donne un résultat cohérent avec la fonction d'utilité.

Une telle cohérence est clairement l'exigence minimale pour ce type d'indicateur : il faut éviter qu'un indicateur affirme qu'on est, toutes autres choses égales par ailleurs, sur un trend d'utilité ou de bien-être croissants alors que les individus préféreraient, s'ils avaient le choix, en rester aux revenus et aux prix auxquels ils faisaient face dans le passé. Un indicateur qui aurait ce comportement serait clairement disqualifié. Mais être complètement protégé de ce risque n'est pas aussi trivial qu'il ne le semble. On en est assez bien protégé quand la consommation s'accroît dans toutes ses dimensions et tant que la croissance de chaque bien ou service continue d'être valorisée positivement par les intéressés, à un problème près de *path dependence* des indices à prix ou volume chaîné qui fait que le passage d'un état A à un état B peut donner deux résultats différents selon le chemin emprunté pour aller de l'un à l'autre. La cohérence avec les préférences ordinales serait de même assez bien assurée dans le cas extrême inverse de décroissance généralisée où il y aurait moins de tout, avec un message peu ambigu de baisse du niveau de vie, sans présager de ses possibles compensations sur le plan non monétaire. Mais ce qu'on anticipe du verdissement est une situation hybride avec moins de certaines choses pendant que d'autres continueraient d'être disponibles en quantité croissante. Le signe de la contribution de ces changements à l'évolution du bien-être devient indéterminé *a priori*. S'assurer que ces choses sont toutes mesurées au mieux et agrégées comme il convient devient d'une importance décisive : ce n'est plus uniquement l'intensité de la croissance dont la mesure serait en question, comme c'est déjà souvent le cas, mais aussi son signe.

2. De quels coûts en bien-être le revenu réel rendra-t-il compte ?

Pour examiner cette question, on va s'appuyer sur une typologie des canaux par lesquels la transition climatique est susceptible d'affecter les possibilités de consommation et donc le bien-être économique. En laissant en mineur la piste du verdissement des préférences qui sera examinée plus complètement au Chapitre 2 (section 2), on peut compter sur :

- un verdissement spontané sous l'effet d'un progrès technique rendant progressivement plus compétitifs les biens ou les inputs verts, donc sans surcoût pour l'utilisateur final, voire à coût moindre si, une fois ces biens devenus totalement compétitifs, le progrès technique continue à en réduire le coût ;
- un verdissement forcé par imposition de contraintes réglementaires ;
- un verdissement forcé ou encouragé par les signaux prix, respectivement par une taxation des biens bruns ou par la subvention des biens verts.

Pour chacun de ces vecteurs de verdissement, même si la variable d'intérêt est au niveau du ménage, il faut par ailleurs différencier selon que le premier point d'impact est au niveau des ménages ou des entreprises. Pour être bien pris en compte dans le RDB ou le niveau de vie, les effets finaux de ce vecteur de verdissement doivent être enregistrés à son numérateur – le revenu nominal –, ou à son dénominateur – l'indice des prix.

La discussion de ces effets va s'appuyer sur un modèle simple à trois biens (voir Encadré 1), qu'on réutilisera pour illustrer d'autres points de la note. Ces trois biens sont un bien de base, et deux biens bruns et verts. Tous sont plus ou moins substituables entre eux, et le verdissement consiste surtout à forcer la substitution du bien vert au bien brun. Plus exactement, la structure de substituabilité qui est retenue est une CES¹ emboîtée, dans laquelle l'utilité totale dépend du bien générique de base et d'un composite combinant des quantités ajustables de bien vert et du bien brun. Pour rendre le modèle plus flexible, on ajoute des termes à la Stone-Geary pour la CES de niveau supérieur.

Encadré 1 – Maquette à trois biens

Pour les simulations, on retient une forme de la fonction $U(q)$ faisant intervenir trois biens : deux biens substituables bruns et verts, consommés en quantités q_b et q_v , et un agrégat de tous les autres biens, consommé en quantité q_0 . La spécification retenue est une CES emboîtée. Les deux biens bruns et verts sont combinés selon une première CES pour produire un bien composite ou un service – par exemple, un dosage variable d'usage de la voiture ou des transports en commun pour assurer une fonction de déplacement donnée – qu'une deuxième CES combine avec le bien q_0 . On ajoute à la deuxième CES des termes de niveau de consommation ou d'usage minimaux incompressibles B_0 et B . Les préférences sont intégralement décrites par les deux élasticités de substitution σ_0 et σ , les poids a_0 et a , et ces deux termes B_0 et B . La fonction d'utilité $U(q_0, q_b, q_v)$ s'écrit ainsi :

$$\left[a_0(q_0 - B_0)^{\frac{\sigma_0-1}{\sigma_0}} + (1 - a_0) \left(\left(a q_b^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - a) q_v^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - B \right)^{\frac{\sigma_0-1}{\sigma_0}} \right]^{\frac{\sigma_0}{\sigma_0-1}} \quad (1)$$

On notera que le poids a et l'élasticité de substitution σ peuvent aussi être vus comme des paramètres de possibilités technologiques offertes au ménage pour combiner les biens bruns et verts, par exemple une offre accrue de services de transport en commun les rendant davantage substituables à l'usage de la voiture.

Pour ce qui est des termes B_0 et B , ils peuvent aussi prendre des valeurs négatives. Cette possibilité sera utilisée pour le facteur B , pour rendre compte du cas où le service composite est non essentiel, *i.e.* si ne pas en consommer n'empêche pas d'avoir une utilité positive.

Le premier bien servant de numéraire, la fonction d'utilité est maximisée sous la contrainte budgétaire $R = q_0 + p_b q_b + p_v q_v$, avec contraintes de non-négativité de

¹ CES = Constant Elasticity of Substitution.

q_0 , q_b et q_v et, dans certaines simulations, un plafond réglementaire \bar{q}_b sur la consommation du bien brun. On notera que la fonction ne décrit des préférences homothétiques que pour $B = B_0 = 0$. Dans ce cas, elle est homogène de degré 1 et l'indicateur de niveau de vie réel obtenu en déflatant R par l'indice de prix chaîné reproduirait exactement son évolution. Les évolutions seront nécessairement divergentes avec B ou B_0 non nuls, même si la divergence n'est pas forcément de grande ampleur.

Dans l'ensemble des simulations, on suppose que la transition écologique consiste à faire passer la consommation du bien brun sous un certain plafond à la fin de la période de transition. Sauf mention contraire, ce plafond final est le même dans toutes les simulations. Dans un premier temps, on se limite au cas où les préférences du consommateur sont fixes, et la maquette permet de combiner différents canaux permettant d'atteindre le plafond cible de consommation brune : la mise en place d'un plafond réglementaire de consommation du bien brun, l'implémentation d'une taxe, ou encore du progrès technique rendant le bien vert plus compétitif. Dans un second temps, la maquette pourra permettre de prendre en compte un quatrième canal de transition se superposant aux trois autres : un verdissement des préférences réduisant d'autant la nécessité d'une intervention publique, à cible donnée pour la baisse de la consommation du bien brun.

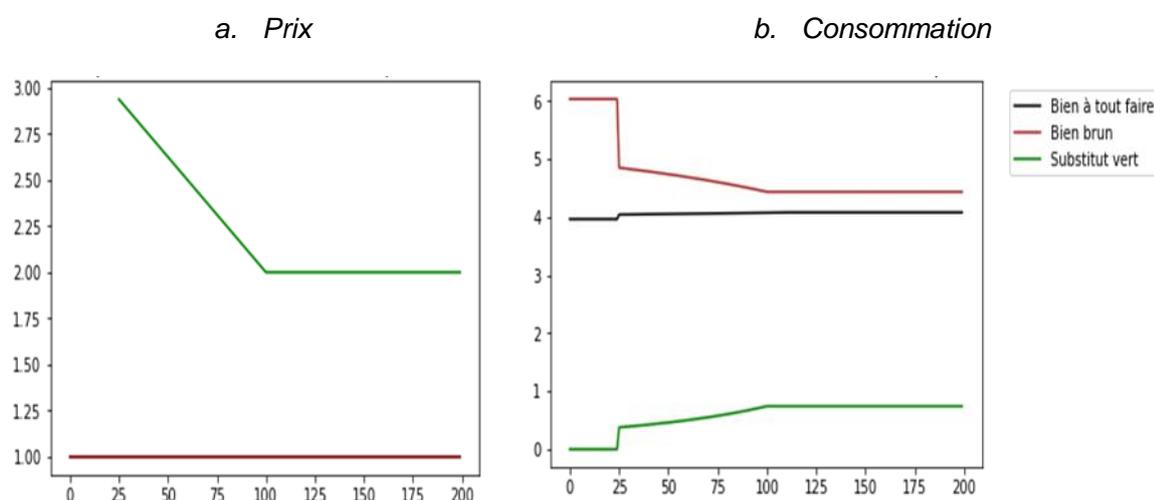
Cette maquette peut d'abord être utilisée pour simuler le cas d'écologie d'une transition qui serait portée par l'arrivée de biens verts initialement plus coûteux, mais qu'un progrès technique naturellement orienté vers le verdissement rendrait progressivement plus compétitifs. Le bien vert commence alors à être consommé, remplaçant progressivement le bien brun, sans nécessité d'une intervention publique. C'est le scénario présenté par le Graphique 3, avec des prix fixes pour les biens q_0 et q_b , une date exogène d'entrée sur le marché pour le bien q_v avec un prix qui décroît ensuite.

Là, on est dans le cas standard d'effet de l'introduction d'un nouveau bien. Il existe un prix de réserve au-dessus duquel la demande pour ce bien est nulle. Sur le Graphique 3, pour être complet, on a simulé le cas où la première mise à disposition se ferait déjà au-dessous de ce prix de réserve, conduisant dès cette mise à disposition à un saut dans la structure de consommation : si tel était le cas, on aurait un choc initial positif sur l'utilité telle que définie par (1) qui ne serait pas retracé par le RDB nominal déflaté par l'indice de prix chaîné.

En revanche, la suite du processus au cours de laquelle la baisse du prix du bien conduit à encore accroître son usage est bien captée. Ceci veut dire que, si la première mise à disposition du bien se fait plutôt au-dessus ou à proximité de son prix de réserve, sans créer de discontinuité, l'essentiel des bénéfices du progrès technique vert aura été bien mesuré.

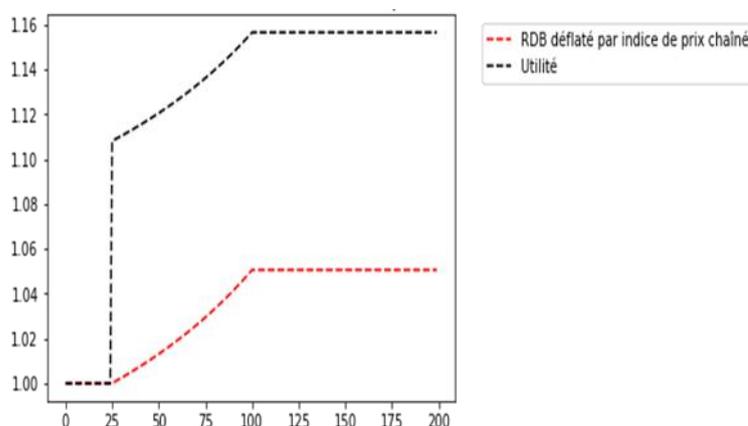
Dans ce premier cas d'école, on est donc au pire dans une situation de biais pessimiste, par ignorance d'un effet nouveau bien positif. Néanmoins, dans le cas du verdissement ce risque apparaît très faible voire inexistant. Ce type de biais a souvent été mis en avant pour arguer d'une sous-estimation de la croissance¹, dans les débats sur la mesure des effets des NTIC (nouvelles technologies de l'information et de la communication) ou de l'économie numérique, soit qu'on ait affaire à des biens assurant des services innovants et bénéficiant d'entrée de jeu de parts de marché significatives, soit que leur inclusion dans l'indice des prix intervienne avec retard, après que cette part de marché a commencé à décoller. Mais ce problème est beaucoup moins probable pour la transition vers l'économie verte. Les nouveaux biens qui peuvent y contribuer ne rendent pas de services nouveaux, ce sont d'autres façons de rendre les mêmes services, et à coût au départ plus élevé que les biens bruns pré-existants, l'exemple type étant la voiture électrique. On est plutôt sur le schéma d'une diffusion progressive, au fur et à mesure que le prix arrive à baisser, un phénomène que les indicateurs capteront bien si ces produits ont été inclus suffisamment tôt dans le panier dont on suit les prix. Et le fait qu'il y ait besoin en réalité d'une intervention publique est une preuve qu'il n'existe pas une diffusion spontanément rapide.

Graphique 3 – Effet nouveau bien et baisse de prix du bien vert



¹ Aghion P., Bergeaud A., Boppart T. et Bunel S. (2018) « [Firm dynamics and growth measurement in France](#) », *Journal of the European Economic Association*, vol. 16(4), p. 933-956. Pour une revue, voir Blanchet D., Khder M.-B., Leclair M., Lee R., Poncet H. et Ragache N. (2018), « [La croissance est-elle sous-estimée ?](#) », *L'Économie française - Comptes et dossiers édition 2018*, Insee, coll. « Références », p. 59-79.

c. Utilité et niveau de vie évalué à prix chaînés

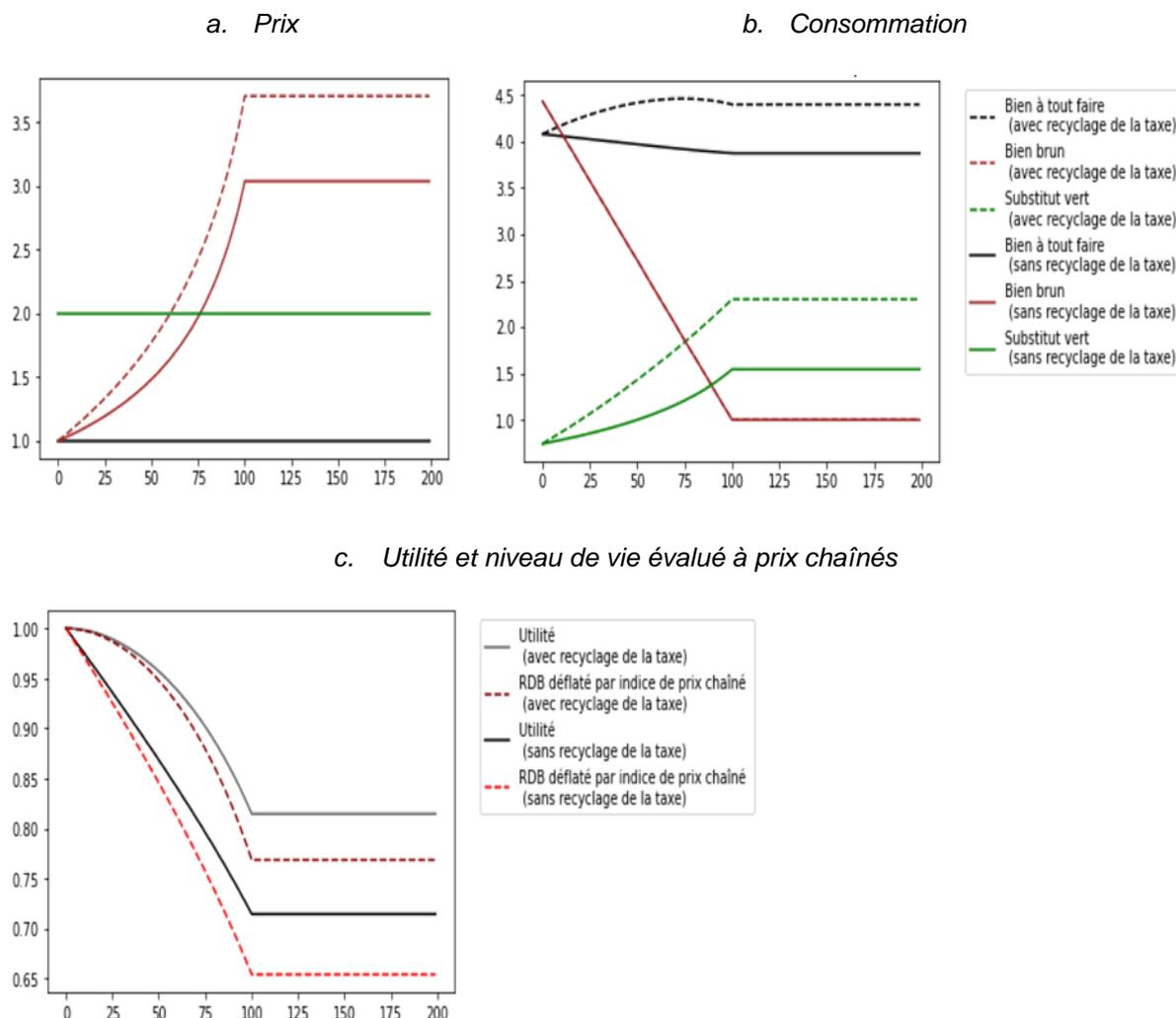


Source : auteurs

C'est uniquement si cette intervention prenait la forme d'une subvention suffisamment forte pour générer un décollage rapide d'un bien avant qu'il n'apparaisse dans l'indice qu'on pourrait avoir un saut de bien-être non répercuté dans la mesure du niveau de vie. Mais, en général, la subvention interviendra en soutien à la demande d'un bien déjà existant. Si tel est le cas, l'ensemble de l'effet de la subvention sera pris en compte, en même temps que l'éventuel coût de son financement, compté en déduction du RDB nominal, si c'est par les ménages qu'est supporté ce financement.

Si l'intervention publique prend la forme symétrique d'une taxation, on aura les effets inverses, et ceux-là seront eux aussi retracés dans l'évolution du RDB réel : hausse du prix au dénominateur éventuellement compensée au numérateur par la redistribution du produit de la taxe, d'une manière qui prendra en compte l'éventuel effet de perte sèche, le fait que le rendement fiscal de la taxe n'est pas forcément égal à l'impact négatif sur le niveau de vie. C'est ce qu'illustre le Graphique 4 avec ou sans redistribution de la taxe, avec une taxe calibrée pour générer dans les deux cas la même décroissance linéaire de la consommation du bien brun. Il y a une baisse elle aussi à peu près linéaire de l'utilité comme du RDB réel dans ce cas sans recyclage : l'écart des deux indicateurs tient à la non-homothéticité de la fonction d'utilité qui entraîne une légère dérive des prix chaînés (voir [Annexe 1](#)), mais sans que le biais soit considérable. Le recyclage permet des consommations plus élevées du bien vert comme du bien à tout faire, à baisse identique de la consommation du bien brun. Il en résulte de moindres baisses de niveau de vie et de l'utilité, comme on pouvait s'y attendre, avec une dérive de même ampleur entre l'un et l'autre.

Graphique 4 – Impact niveau de vie et bien-être de la taxation du bien brun

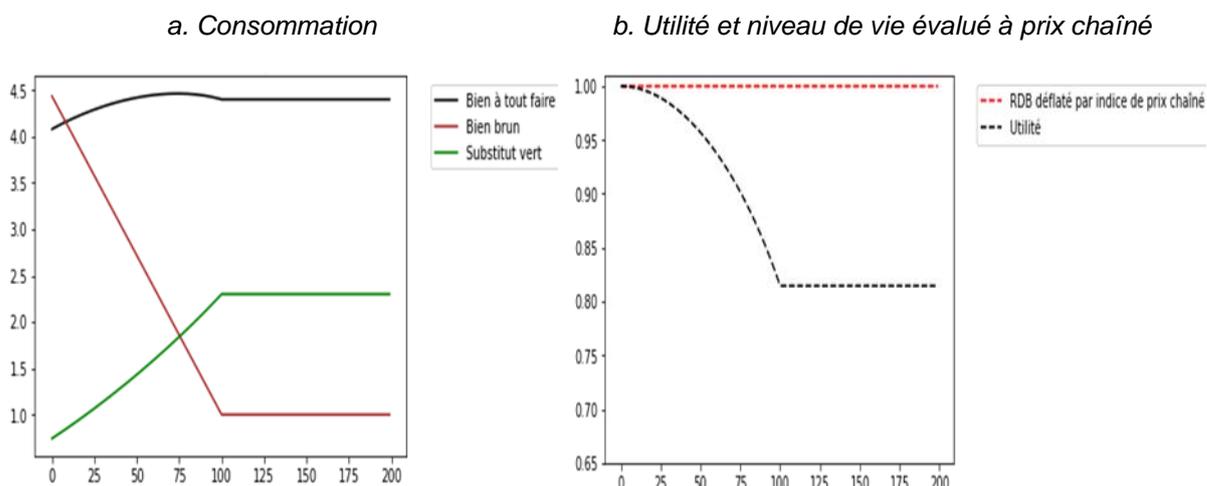


Source : auteurs

Que se passe-t-il en revanche si, au lieu de la taxation du bien brun, la même trajectoire de consommation est obtenue par une réglementation limitant la quantité consommée du bien brun ? Il y a deux modalités possibles de cette limitation. La première version serait celle d'un quota macroéconomique, avec par exemple l'attribution à chaque ménage de droits à consommer pouvant ensuite être échangés entre ménages. Dans ce cas, la rareté créée par la réglementation devrait pousser à la hausse le prix du bien brun, et on reste dans un cas où le revenu réel pourrait à nouveau rendre compte de l'impact sur le ménage moyen, à supposer que le prix de ces droits à consommer soit bien suivi par l'indice des prix. L'autre version est celle d'un quota individuel non échangeable, c'est celle qui est simulée en Graphique 5, sous l'hypothèse que ceci n'affecterait les prix d'aucun des biens, à coûts de production inchangés. On a

exactement la même évolution des consommations que dans le cas de la taxation avec recyclage puisque le revenu nominal est inchangé et laisse les mêmes possibilités de report sur les biens verts et à tout faire. L'utilité évolue donc comme sur le Graphique 4, toujours à la baisse, mais cette fois-ci sans aucune baisse enregistrée par le RDB réel. Il y a certes une évolution du poids des différents biens dans l'indice des prix mais, en l'absence de variation des prix, cette évolution des poids est sans effet sur l'indice des prix, alors même que le caractère de plus en plus contraignant de la réglementation conduit bien à une baisse continue de l'utilité. On pourrait certes arguer que l'utilisateur bénéficie d'un effet qualité lorsqu'il se voit imposer l'usage d'un bien plus coûteux mais moins polluant, mais cette forme d'effet qualité n'a pas à être prise en compte dans la mesure du niveau de vie s'il ne bénéficie pas directement à ce consommateur.

Graphique 5 – Impact d'une contrainte réglementaire sur la consommation du bien brun



Source : auteurs

Qu'en est-il lorsque les mêmes vecteurs de verdissement interviennent au niveau des entreprises, plutôt que directement aux ménages ? Là, en première analyse, tout ce qui se situe au niveau de l'entreprise a vocation à être traduit en effets revenus ou prix pour les ménages, et donc retracé dans leur pouvoir d'achat. En effet, que l'entreprise soit confrontée à des réglementations nouvelles ou à des prix plus élevés de ses intrants, il en résulte pour elle des coûts croissants et une perte de valeur ajoutée qu'elle devra soit répercuter sur les revenus qu'elle distribue, salaires et dividendes, soit tenter de compenser en facturant des prix plus élevés à ses clients. Si ces clients sont les consommateurs finaux, il y a un impact direct sur le déflateur de RDB. Si l'entreprise n'est pas en bout de chaîne, ce sont ses entreprises clientes qui seront confrontées à ces hausses des prix, mais avec les mêmes effets sur les revenus distribués par ces

entreprises ou sur les prix facturés à leur tour à leurs clientes qui se propageront en cascade jusqu'au consommateur final. Si l'entreprise bénéficie à l'inverse d'un progrès technique spontanément favorable au verdissement, ceci se traduira en gains de valeur ajoutée profitant *in fine* au RDB nominal, ou en baisses de prix prises en compte à son dénominateur.

La traduction finale au dénominateur du RDB réel peut néanmoins varier selon la façon dont le verdissement de l'offre est géré par l'indice de prix, avec une autre version de problème du nouveau bien mentionné plus haut, conduisant cette fois à un biais d'optimisme plutôt que de pessimisme. Supposons le cas d'une nouvelle norme imposée aux entreprises qui les oblige à renchérir le prix d'un bien existant. Tant que cette hausse est bien traitée comme hausse du prix du même bien suivi de manière continue dans l'indice, on mesurera bien l'impact négatif du verdissement sur le niveau de vie. Mais ce ne sera plus le cas si le bien mis aux nouvelles normes est plutôt traité comme nouveau bien. Là, il y aura neutralisation de la hausse du coût.

On pourrait à nouveau défendre cette neutralisation en considérant que l'utilité du consommateur est directement améliorée par la nouvelle norme : le traitement en nouveau bien revient dans ce cas à considérer que le surcoût traduit un effet qualité. Mais, encore une fois, ce choix n'est pas justifié en l'absence d'un tel gain en utilité directe. Il fait passer à côté d'un effet défavorable sur le niveau de vie. De manière générale, sur ce problème des nouveaux bien également abordé par le rapport thématique *Inflation*¹, on peut retenir que l'indice des prix ignore aussi bien les effets favorables que les effets défavorables des biens traités comme nouveaux biens au moment de leur introduction, que ce traitement soit imposé par la nature de ces biens ou résulte d'un choix statistique : ignorance des effets favorables dans le cas d'un bien apportant un réel gain d'utilité directe au consommateur, ignorance des effets défavorables quand le nouveau bien ne fait qu'imposer un surcoût sans bénéfice individuel direct.

Au total, on a ainsi un mélange d'effets bien mesurés, et d'effets non mesurés, avec dans le cas le plus probable une sous-estimation du coût de la transition, lorsqu'elle résulte de contraintes réglementaires (voir Tableau 1, page suivante).

¹ France Stratégie (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Inflation*, op. cit.

Tableau 1 – Principaux effets du verdissement sur le bien-être économique des ménages

Vecteur de verdissement	Effets mesurés sur les ménages			Effets non mesurés ou sous estimés
	Dans le revenu nominal	Dans la mesure des prix	Au compte de capital	
Progrès technique verdissant	Soldes des revenus générés/perdus par les activités vertes/brunes	Baisse du prix des produits verts	Solde des gains/pertes en capital brun/vert détenu par les ménages	Effet nouveau bien (si adoption spontanée)
Subventions ...au niveau de l'entreprise	Répercussion sur les revenus distribués, après prise en compte du mode de financement	Répercussion sur les prix aux consommateurs		
...au niveau du ménage	Effet sur le revenu net, selon le mode de financement	Effet direct sur les prix		
Taxation ...au niveau de l'entreprise	Répercussion sur les revenus distribués	Répercussions sur les prix aux consommateurs		
...au niveau du ménage	Recyclage du revenu de la taxe, si redistribué aux ménages	Effet direct sur les prix		
Réglementation ...affectant les entreprises	Répercussion éventuelle sur les revenus distribués	Répercussion sur les prix de vente des biens existants		Effet prix ignoré si traitement en nouveau bien
...affectant les ménages			Dévalorisation des actifs bruns directement détenus par les ménages	Restriction des possibilités de consommation
Verdissement des préférences (voir Chap. 2, section 2)	Soldes des revenus générés/perdus par les activités vertes/brunes	Répercussion sur les prix absolus et relatifs	Solde des gains/pertes en capital brun/vert	Impact du changement de préférences sur le bien-être ressenti

Source : auteurs

3. Autres apports et autres limites des indicateurs monétaires

À partir de ce premier examen centré sur les propriétés du RDB réel, d'autres questions peuvent être soulevées sur le traitement en comptabilité nationale d'un certain nombre d'autres aspects du verdissement, soit à l'intérieur du champ en principe couvert par la comptabilité nationale, soit à cheval sur sa frontière.

3.1. La valorisation monétaire des services publics verdissants

On peut d'abord s'intéresser au fait que, au-delà du RDB, un indicateur plus global de ce qui revient *in fine* aux ménages est le revenu disponible dit « ajusté ». Comme on l'a rappelé en section 1, ce RDBA ajoute au RDB la valeur monétaire des services publics individualisables dont bénéficient les ménages, principalement la santé et l'éducation, en contrepartie d'une partie des impôts et cotisations sociales qu'ils acquittent et qui sont déjà comptés en déduction de leur RDB. C'est bien une forme de revenu implicite puisque, en dispensant les ménages de financer par eux-mêmes une part substantielle de leurs dépenses, elle leur libère du pouvoir d'achat pour d'autres biens et services. Un RDB qui ne compte que les prélèvements finançant ses prestations sans considérer ce que les ménages reçoivent en retour est biaisé, notamment en comparaison internationale : à l'aune d'un tel indicateur, les ménages d'un pays à faible financement public de la santé et de l'éducation apparaissent mieux lotis que ceux d'un pays où leur financement est collectif, ce qui n'est pas justifié, tout du moins à qualité identique de ces services entre secteurs public et privé¹.

Au-delà du RDBA, on peut même imaginer d'inclure dans le calcul du niveau de vie véritable des ménages l'ensemble des avantages qu'ils retirent de l'ensemble des services publics, qu'ils soient individualisables ou pas. À la limite, c'est la totalité du PIB ou préférablement du RNB qu'on peut envisager d'ainsi réaffecter aux ménages, puisque tout le revenu national est supposé leur profiter *in fine*, la question étant ensuite de savoir à quels ménages vont quelles parts de ce revenu national².

Qu'on adopte la vision classique du RDBA ou cette vision plus large, la question est de savoir comment ce qu'ils ajoutent au RDB sera à son tour affecté par le verdissement. Si les administrations publiques s'auto-imposent un verdissement de leur activité productive identique à celui que taxes ou réglementations imposeront aux acteurs privés, il devrait en résulter soit une hausse du coût de ces services à qualité et quantité constantes, soit des baisses de qualité et ou de quantité à coût constant. Or le partage volume-prix des services publics, en l'état, n'est traité que de manière relativement *ad hoc* par la comptabilité nationale, faute de l'observabilité des prix unitaires dont on dispose pour les biens marchands. Ce qui est mis en œuvre est une mesure directe des volumes pour deux composantes du RDBA : la santé et l'éducation, mais évalués respectivement par les deux *proxys* que sont le nombre d'actes, et les nombres d'élèves présents dans les établissements d'enseignement, sans mesures plus précises de la qualité de ces actes et de l'enseignement ainsi dispensé. Pour les autres productions du secteur public, la

¹ C'est principalement à ce titre que la mise en avant était préconisée dans le rapport Stiglitz J., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), *Richesse des nations et bien-être des individus*, Paris, Odile Jacob.

² Germain J. M., André M. et Blanchet T. (2021), *Rapport du groupe d'experts sur la mesure des inégalités et de la redistribution*, coll. « Insee Méthodes », n° 138, février ; André M., Germain J. M. et Sicsic M. (2023), « *Approche élargie des inégalités et de la redistribution en France : enseignements du rôle des transferts et de la valorisation des services publics* », Document de travail, Insee, n° 2023-07.

quantité de services produits est supposée évoluer comme l'emploi qui y est affecté, sous l'hypothèse conventionnelle d'une productivité fixe en valeur réelle.

Il est largement admis qu'il s'agit là de traitements dont on se contente faute de mieux. Ils ont déjà posé question dans le cadre de la crise du Covid¹. Peut-on par exemple considérer que la production de services d'éducation a été constante à la fois en qualité et en quantité sur la période, du seul fait que le nombre d'élèves inscrits n'a pas été affecté par la crise ? Des questions de même nature peuvent être anticipées si le verdissement impose des contraintes nouvelles à ces activités. Par exemple, la production de soins n'est pas une activité neutre en carbone. La décarboner aura un coût. Si ce surcoût est sans incidence sur la quantité et la qualité des actes parce qu'il aura été intégralement répercuté aux ménages sous forme de prélèvements additionnels, l'opération sera neutre sur le RDBA en valeur nominale, car le surcroît de prélèvements équilibrera juste le surcroît de valeur nominale des soins prodigués. En volume, on aura baisse du RDB (l'indice des prix à la consommation n'est pas modifié) et constance de la production de soins, donc bien une baisse de niveau de vie réel global. Si la santé fonctionne plutôt à enveloppe constante et si l'ajustement se fait sur le nombre d'actes, on enregistrera là aussi une baisse du RDBA en volume. Mais si l'ajustement porte sur la qualité des actes, à budget global et quantité donnée de ceux-ci, il y aura une dégradation qui, cette fois, ne sera pas prise en compte dans l'indicateur, faute d'une mesure plus précise de la qualité de ces actes.

Dans un ordre d'idées similaire, à la frontière du marchand et du non-marchand, si la décarbonation des déplacements passe par des reports massifs vers les transports publics mais si ceux-ci se font à budget fixe et donc capacité d'accueil constante pour ces transports, l'encombrement accru de ces services sera bien une forme de dégradation de la qualité du service mais qui ne sera pas répercutée dans la mesure du niveau de vie. Il y a là tout un ensemble de sujets qui seront à surveiller.

3.2. Verdissement et comptes de patrimoine

Un autre élément qui fait du RDB une mesure seulement partielle du revenu est l'absence de prise en compte de la forme de revenu que représentent les variations de valeur du patrimoine. On sait qu'il existe une définition économique large du revenu, due à Hicks, qui intègre tout ce qu'un agent peut dépenser sur une période donnée en étant aussi riche à la fin qu'au début. Cette définition, prise à la lettre, implique d'inclure dans la mesure du revenu net les plus-values comme les moins-values qui affectent le patrimoine de cet agent.

¹ Houriez G. (2020), « Santé, éducation, services administratifs : la difficile mesure des activités non marchandes en temps de crise sanitaire », Blog de l'Insee, 27 novembre ; Blanchet D. et Fleurbaey M. (2022), « Valeurs, volumes et partages volume-prix : sur quelques questions (re)soulevées par la crise sanitaire », *Économie et statistique/Economics and Statistics*, n° 532-33, p. 71-88.

La comptabilité nationale assume de ne pas avoir cette approche¹, pour des raisons pragmatiques : elle donnerait aux séries de revenu une volatilité qui en brouillerait la lecture et les éloignerait du ressenti de la majorité des ménages. Vu la forte concentration des patrimoines, il n'y a qu'une fraction de la population qui est concernée significativement par cette composante patrimoniale du revenu hicksien, tout au moins si on met de côté le patrimoine immobilier. Pour ce dernier, la raison de l'exclure est plutôt qu'il est peu liquide, ce qui offre de faibles possibilités de dépenser dans l'année le fruit de son appréciation.

Ceci ne veut pas dire que les plus ou moins-values sont ignorées par la comptabilité nationale, elles sont suivies à part, dans le compte de capital. C'est à ce niveau qu'il semble *a priori* nécessaire d'envisager un aspect central des coûts de la transition, celui des actifs échoués. Est-ce à ce niveau qu'il sera spontanément traité par les comptes, et le sera-t-il dans son intégralité ? Plusieurs cas de figure sont à distinguer.

La problématique des actifs échoués se pose d'abord de façon interne à l'entreprise car ils correspondent à la nécessité d'un déclassement accéléré d'actifs productifs bruns. Puisque ce qui nous intéresse *in fine* est l'impact sur le bien-être économique des ménages, il est alors possible et plausible qu'une partie de cet impact soit spontanément prise en compte par les canaux décrits à la section précédente, que la mise au rebut des équipements bruns ait été forcée par la réglementation ou que l'entreprise y soit incitée par la taxation. Dans un cas comme dans l'autre, la nécessité d'un remplacement du capital brun par du capital vert est un surcoût pour l'entreprise dont une partie sera répercutée aux ménages sous forme soit de hausse des prix, soit via la modération salariale, ou bien encore, pour les plus favorisés de ces ménages, via la moindre distribution de dividendes. Ce qui restera à suivre au compte de capital des ménages sera l'effet sur leur patrimoine financier de la diminution de la valeur de la firme, là encore pour ceux des ménages – toujours les plus favorisés – qui en détiendront des parts. Tout ceci restera également vrai dans le cas où les coûts sont tels que la firme doit cesser son activité : perte en capital intégrale pour les actionnaires, mais aussi disparition des salaires et dividendes versés, en partie compensées si cette fermeture participe d'un mouvement de destruction créatrice dans lequel des firmes brunes sont remplacées par des firmes vertes à leur tour capables de verser des salaires et des dividendes. Ceci se combinera à un effet de signe *a priori* indéterminé sur le niveau moyen des prix, selon les prix auquel ces nouvelles firmes mettront sur le marché les nouveaux biens verts qu'elles ont à proposer à la place de ceux des firmes disparues.

Il faut en revanche se tourner uniquement vers le compte de capital quand cette problématique de l'échouage concerne les actifs physiques directement détenus par les ménages. C'est le cas au premier chef pour le logement. De nouvelles normes d'isolation conduisent, dans un premier temps à une perte de valeur des logements auxquels elles s'imposent. Soit le propriétaire y répond par des travaux, on rentre dans une problématique de dépense

¹ Vanoli A. (2002), *Une histoire de la comptabilité nationale*, Paris, La Découverte, coll. « Repères ».

contrainte qui pèse sur le niveau de vie : on retombe sur le même genre de sujet que celui que soulevaient les contraintes imposées à la consommation. Soit le propriétaire n'est pas en mesure de procéder à ces travaux et préfère se dessaisir de son bien en subissant une décote, et c'est alors à son compte de capital que cet effet devrait être enregistré.

Bien évidemment, dans ce cas d'espèce, on ne pourra pas arguer que cette décote profite en sens inverse aux acheteurs et que les deux effets se compensent, ce qui permettrait d'ignorer l'un et l'autre. Cet effet de compensation est l'argument classiquement utilisé pour ignorer l'impact des prix de l'immobilier ancien sur le niveau de vie du ménage moyen, ce que gagnent/perdent les vendeurs étant réputé juste égal à ce que perdent/gagnent les acheteurs¹. Là, on est dans un cas où la dévalorisation subie par les vendeurs ne profite pas aux acheteurs, puisqu'ils devront reprendre à leur charge la mise aux normes du bien qu'ils achètent.

Une autre façon de gérer le problème serait de préférer au RDB une mesure de revenu disponible net de cette dépréciation du capital immobilier, se rapprochant par là-même du concept hicksien. La même démarche pourrait s'envisager pour d'autres biens durables, si la comptabilité nationale ne les traitait pas en biens de consommation, typiquement les véhicules².

3.3. Verdissement et déplacements de la frontière de la production

Si on était en mesure de s'aventurer dans cette voie d'une prise en compte systématique de la dépréciation du capital, on serait du même coup équipé pour prendre en compte un phénomène symétrique d'allongement de la durée de vie de certains autres biens, qui fait l'objet d'une simulation dans le rapport thématique *Sobriété*³ sur la sobriété, et qui peut prendre deux formes. Il peut s'agir d'une forme de progrès technique, si ce sont les entreprises qui orientent leur offre vers des biens plus durables et/ou davantage réparables. Mais il peut aussi découler du développement du marché de l'occasion permettant de générer davantage d'utilité à partir d'un niveau donné de production de biens neufs et des revenus qui y sont associés.

Ces revenus de la production sont ce sur quoi se concentre la comptabilité nationale qui considère qu'il n'y a pas de nouvelle production lorsqu'un bien est vendu d'occasion, ce qui justifie que cette revente ne soit comptée ni dans le PIB ni dans le RDB, sauf la commission

¹ Lin V. et Meslin O. (2020), « [Hausse des prix immobiliers et mesure du niveau de vie](#) », Document de travail Insee-Dese n° 2020-15 ; Blanchet D., Lin V. et Meslin O. (2022), « [Évaluer l'impact de l'immobilier sur les niveaux de vie : les principaux éléments du débat](#) », Blog de l'Insee, 7 janvier.

² À cet égard, on rappelle que les pratiques varient d'un pays à l'autre : aux États-Unis, la comptabilité nationale traite en biens durables une bonne partie de l'équipement des ménages.

³ Voir France Stratégie (2023), [Les incidences économiques de l'action pour le climat. Sobriété](#), rapport thématique coordonné par Aude Pommeret, mai.

de l'éventuel intermédiaire. Cette position des comptes nationaux a sa logique, mais on en voit les limites. On pourrait la dépasser en reprenant par exemple un cadre d'analyse introduit par Hulten et Nakamura¹ à propos des effets de certains des services en ligne de l'économie numérique qui ont permis de rapatrier vers le ménage des tâches de production qui avaient eu jusque-là tendance à être externalisées vers le marché. Ce genre de transfert a un effet à la baisse du PIB mais pas nécessairement sur le bien-être. Le cadre d'analyse qu'ils proposent est un cadre à la Lancaster² dans lequel le ménage produit son bien-être en combinant des doses variables d'outputs marchands et son propre travail domestique. Deux formes de progrès technique existent alors : celui permettant de produire une quantité croissante de ces outputs marchands à partir de ressources primaires et de travail marchand, qui est celui que mesure la comptabilité nationale, et celui permettant de produire de plus en plus de bien-être avec une quantité décroissante de ces outputs marchands. Le développement d'une économie de l'usage accroissant l'intensité d'utilisation et la durée de vie de ces biens marchands relèverait de ce second type de progrès technique.

Il s'agit là d'un exemple parmi d'autres des limites d'une comptabilité nationale centrée sur une délimitation conventionnelle de ce qu'elle qualifie de frontière de la production, initialement limitée aux productions marchandes, puis étendue aux services publics, mais continuant de laisser de côté l'essentiel des activités de production des ménages ou des échanges directs entre ces ménages. La transition climatique pourra entraîner ou nécessiter des redéploiements entre ces trois sphères dont il serait nécessaire de rendre compte. Ce faisant, on commence néanmoins à entrer dans la problématique des déterminants non monétaires du bien-être, qui est l'objet du Chapitre 2 (section 1).

3.4. Au-delà de la moyenne : désagrégation et mesure des inégalités

Pour en rester aux dimensions monétaires et pour conclure temporairement à leur sujet, quelques remarques s'imposent enfin sur la question des inégalités d'exposition à ces coûts financiers du changement climatique, au-delà des mentions qu'on a déjà dû faire de ces inégalités quand on a différencié effets sur les revenus principalement salariaux et effets sur ceux du capital. On se bornera à soulever quelques questions méthodologiques, le sujet étant plus complètement traité dans le rapport thématique *Enjeux distributifs*³.

En l'état, plutôt qu'une désagrégation directe du RDB, les constats par niveaux de revenus ou autres critères sociodémographiques utilisent la notion de niveau de vie du ménage, calculée par la statistique sociale, mais les concepts sont suffisamment proches pour

¹ Hulten C. R. et Nakamura L. I. (2019), « [Expanded GDP for welfare measurement in the 21st century](#) », Working Paper NBER, n° 26578.

² Lancaster K.J. (1996), « [A new approach to consumer theory](#) », *Journal of political economy*, vol. 74(2), p. 132-157.

³ France Stratégie/CGDD (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Enjeux distributifs*, rapport thématique coordonné par Vincent Marcus, mai.

considérer que, en première analyse, on a affaire au même objet. Le Graphique 2 avait donné l'évolution de ce niveau de vie par tranches interdéciles au cours des dernières décennies. Le premier enjeu face à une période de forts changements structurels est de s'assurer que cette désagrégation portera les bons messages sur le champ qu'elle est supposée couvrir. À cet égard, une évolution des pratiques s'est amorcée, consistant à bien symétriser le diagnostic entre évolution des inégalités de revenu nominaux, et inégalités d'exposition aux variations de prix. Traditionnellement, c'est sur les premières qu'a le plus porté l'attention, l'idée étant que, pour ce qui était des prix, les différences de structure de consommation et/ou les différences de dynamique des prix poste par poste n'étaient pas d'ampleur suffisante pour justifier l'application d'indices de prix différenciés aux différents groupes de population.

Ce discours a cessé d'être tenable et s'est traduit par l'émergence dans le débat académique ou les travaux appliqués du thème de l'*inflation inequality*¹ qui émerge dès que les évolutions de prix deviennent focalisées sur certains biens ou services qui n'ont pas le même poids dans tous les types de budgets. La difficulté pour apprécier les différences d'exposition à l'inflation provient de la nécessité de croiser plusieurs dimensions, car ces différences ne dépendent pas que de la position dans la hiérarchie des niveaux de vie.

De plus, le problème est-il bien traité en appliquant des indices des prix à la consommation (IPC) différenciés à l'ensemble des revenus des différentes catégories de ménage ? Il y a d'une part le fait que, comme on vient de le voir, ceci ne gèrera pas l'impact des autres catégories de contraintes imposées aux ménages, sauf à savoir les traduire en équivalents-prix ou revenus. Par ailleurs, même lorsqu'il n'y a que des signaux prix, le présupposé de la déflation du revenu nominal par un ou des IPC est que tout revenu a vocation à être consommé. À ceci peut être objecté le fait que l'impact n'est pas le même pour un ménage qui, avant hausse des prix, consommait tout son revenu courant, et un ménage qui n'en consommait qu'une fraction. Le second a la possibilité d'amortir le choc en réduisant son épargne, voire en puisant sur le patrimoine que lui a permis d'accumuler son épargne passée. On peut y répondre que, si épargne il y a, c'est en vue d'une consommation future, et qu'il n'y a pas de raison de supposer que cette consommation future n'aura pas à être elle aussi réduite demain sous l'effet de cette hausse des prix, sauf réversibilité de cette hausse mais, *a priori*, les modifications de prix relatifs entraînées par le verdissement ont vocation à être durables.

¹ Jaravel X. (2021), « [Inflation Inequality: Measurement, Causes, and Policy Implications](#) », *Annual Review of Economics*, vol. 13, p. 599-629 ; Insee (2022), « [Selon leurs dépenses d'énergie et d'alimentation, certaines catégories de ménages sont exposées à une inflation apparente pouvant différer de plus d'un point par rapport à la moyenne](#) », *Note de conjoncture*, juin, p. 25-27 ; Madec P., Plane M. et Sampognaro R. (2023), « [Une analyse des mesures budgétaires et du pouvoir d'achat en France en 2022 et 2023](#) », *Policy Brief OFCE*, n° 112 ; Cusset P.-Y. et Trannoy A. (2023), « [Alimentation, logement, transport : sur qui l'inflation pèse-t-elle le plus ?](#) », *La Note d'analyse*, France Stratégie, n° 119.

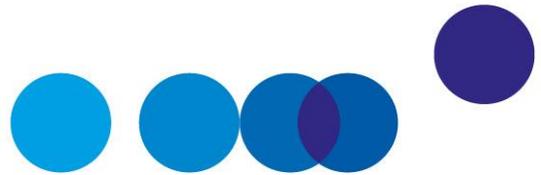
En fait, le problème auquel on fait face est le caractère intertemporel du phénomène. De manière générale, de même qu'il existe un concept de revenu permanent, c'est à une notion de bien-être permanent qu'on pourrait avoir envie de poser comme cible de la mesure, mais avec les difficultés que cela entraîne, puisque faisant sortir de la seule mesure du présent qui est le métier de base du statisticien. Une solution parfois proposée à ce problème est de justement recourir à la dépense courante comme meilleur *proxy* de ce bien-être intertemporel, si elle reflète le revenu permanent mieux que ne le fait le revenu courant. Mais on en voit la limite dans ce cas d'espèce. À niveau de dépense courante identique, il n'y a pas le même bien-être lorsque cette dépense épuise le revenu courant pour répondre à des besoins incompressibles et lorsqu'elle laisse une capacité d'épargne affectée à la préparation du lendemain.

Par ailleurs, un point est à signaler concernant la façon dont certains travaux évaluent les effets redistributifs ou anti-redistributifs de la taxation verte, lorsqu'elle porte sur la consommation¹. Lorsqu'on se contente d'une analyse en coupe instantanée, la façon usuelle de prendre en compte cette taxation est de déduire du RDB le montant de la taxe acquittée. Or, s'il y a réaction comportementale, celle-ci est un minorant de l'effet en bien-être. Il suffit pour s'en convaincre de considérer le cas d'une taxation à un niveau tel que l'individu renoncerait totalement au bien qui est taxé. On serait amené à dire que l'individu n'est pas pénalisé par la taxe, puisqu'il ne la paye pas. Or, à l'évidence, ses choix de consommation ont bien été affectés, et donc son bien-être. En fait, la perte en bien-être est intermédiaire entre la baisse de revenu après taxe qu'on enregistrerait sans réaction comportementale, et la même baisse après prise en compte de la réaction comportementale. C'est un apport des indices chaînés de mieux approcher cette valeur intermédiaire, lorsqu'ils tiennent compte de la montée en régime progressive de la taxe et de ses effets sur la structure de consommation. Mais ils ne sont utilisables qu'en évolution temporelle et pas pour des constats transversaux.

Une fois tous ces problèmes surmontés peut enfin être envisagée la question de réagréger les informations ventilées à niveau fin sous forme d'un nouvel indice agrégé mais prenant en compte le caractère plus ou moins inégalitaire des situations individuelles, ce que ne font ni le PIB ni le RDB puisque ceux-ci jugent équivalents deux états de l'économie ou l'ensemble de ce qui est produit ou gagné ne bénéficie soit qu'à un petit nombre ou est mieux réparti sur l'ensemble de la population. On peut s'appuyer sur des moyennes généralisées interprétables comme fonctions de bien-être social donnant un poids plus ou moins important à l'aversion à l'inégalité², le sujet plus délicat étant le calibrage de cette aversion à l'inégalité.

¹ Bourguignon F. et Landais C. (2022), « [Micro-simuler l'impact des politiques publiques sur les ménages : pourquoi, comment et lesquelles ?](#) », *Les notes du Conseil d'analyse économique*, n° 74.

² Germain J. M. (2020), « [Du PIB au PIB ressenti : en retrait sur le PIB, l'Europe dépasse désormais les États-Unis en bien-être monétaire](#) », *Insee Analyses*, n° 57, octobre.



CHAPITRE 2

AU-DELÀ DES DIMENSIONS MONÉTAIRES : QUELS AUTRES ARGUMENTS DU BIEN-ÊTRE ET COMMENT EN SYNTHÉTISER LES ÉVOLUTIONS ?

Après ce tour d'horizon des effets du verdissement sur ce qu'on peut qualifier de bien-être économique, directement exprimable en termes monétaires ou quasi-monétaires, on doit aborder la question de ses effets sur les dimensions non-monétaires du même bien-être.

Pour introduire cet examen, on peut revenir au cadre conceptuel général proposé au début de cette note, celui d'un bien-être $W(q, z) = W(U(q), z)$ dans lequel les facteurs q sont ceux auxquels on sait donner une valeur monétaire et les facteurs z sont les facteurs non monétaires. On s'est centré dans le premier chapitre sur ce que les mesures standard du niveau de vie permettent de dire de l'évolution de la composante $U(q)$, la question qui est maintenant posée est celle de l'élargissement aux effets des autres paramètres z . Elle n'est pas simple, et on va y ajouter la question encore plus délicate des changements généraux de la forme de la fonction W , qu'elle provienne de modifications de la forme de la seule fonction U , ou de modifications du rôle des z .

La première de ces deux questions est le sujet classique de la littérature *beyond GDP* : comment faire une place à ces z qui leur donne l'importance qu'ils méritent au côté de ce qu'on arrive à faire entrer dans la fonction U ? Dans le cas présent, le principal sujet est celui de la prise en compte des co-bénéfices directs de la transition, par exemple les gains en termes de santé, de loisir, d'agrément du cadre de vie, susceptibles de contrebalancer ses coûts monétaires, mais aussi, en sens inverse, d'éléments non monétaires pouvant renforcer plutôt que mitiger les coûts de la transition.

Du côté positif des co-bénéfices, on rangera évidemment la correction de l'externalité négative que constituent le réchauffement et ses effets induits. Elle entre bien dans le formalisme proposé. Si le vecteur de consommations q se décompose en consommations individuelles de biens bruns q_B et autres biens q_0 et q_v , le vecteur z peut inclure pour sa part le volume global Q_B de cette consommation de biens bruns : lui attribuer un effet

négalif formalisera l'externalité négative associée à l'usage ou à la production de ce bien brun, et sa baisse apportera une contribution positive au bien-être. À ce sujet, il y a toutefois deux précisions importantes à apporter, compte tenu du champ de la mission qui est celui des effets nationaux de court et moyen terme des politiques de verdissement conduites au niveau national :

- D'abord, le fait qu'une part majoritaire des effets externes qu'on cherche à minimiser sont à la fois de long terme et hors du territoire, et que cette part n'est donc pas susceptible de compenser immédiatement et directement les coûts générés par les politiques nationales au niveau national, sauf dans la mesure où la préoccupation du long terme et des effets mondiaux du réchauffement deviendrait une composante importante des préférences des résidents. Une telle évolution des préférences n'est bien sûr pas à exclure et elle est même à souhaiter, mais sans qu'on puisse mettre ses effets complètement sur le même plan que les co-bénéfices immédiatement et localement tangibles.
- Et le fait que, à l'inverse, ces co-bénéfices immédiatement et localement tangibles ne sont pas déterminés que par les politiques menées au niveau du pays, mais par celles menées par l'ensemble de la communauté mondiale.

Au total, sur ce volet, il y a débat à avoir sur la liste des co-bénéfices à inclure dans l'analyse présente, ou à plutôt réserver pour des analyses plus larges en termes de soutenabilité envisagée au niveau planétaire.

Pour ce qui est des facteurs non monétaires jouant plutôt dans le sens d'un surcroît de coût, et susceptibles d'amplifier le vécu négatif de la transition, on retombe en revanche sur des éléments plus clairement locaux.

- Par exemple, les restructurations imposées par le verdissement se traduiront par une combinaison de destructions et de créations d'emploi, donc des passages par du non-emploi et/ou des reprises d'emploi sur d'autres activités, un sujet traité dans le rapport thématique *Marché du travail*¹. Une partie des effets de ce processus de création /destruction aura été prise en compte par les indicateurs monétaires, comme l'a relevé le premier chapitre : les pertes de revenu du travail durant les phases de non-emploi, nettes de leur compensation par l'assurance chômage ou autres mesures de soutien, et le fait que, lorsque retour au travail il y a, il ne se fait pas forcément au même niveau de rémunération. Mais un changement d'activité a des incidences sur le bien-être qui ne se réduisent évidemment pas à ces effets sur le pouvoir d'achat et les consommations qu'il permet, et c'est encore plus vrai d'un passage par le chômage.

¹ France Stratégie/Dares (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Marché du travail*, rapport thématique coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand, mai.

Pour ce qui est de ce dernier, il serait par ailleurs clairement inapproprié de réduire cet effet non monétaire à un effet positif de gain en loisir : loisir forcé et loisir choisi n'ont pas la même incidence sur le bien-être.

- Il existe d'autres exemples d'effets pas nécessairement positifs et non pris en compte ou mal pris en compte par les indicateurs de niveau de vie usuels. Ainsi, la sobriété peut nécessiter de redensifier l'occupation des logements, avec inversion du mouvement de décohabitation qu'on a connu sur les dernières décennies. Le niveau de vie ou le RDB calculés par unité de consommation y verront un facteur favorable, puisque cette re-densification permettra de mieux profiter des économies d'échelle permises par la vie en commun. Cependant, si la tendance à la décohabitation avait dominé jusqu'ici, c'est que les individus y trouvaient d'autres avantages, auxquels ils se trouveraient contraints de renoncer. La correction du RDB par l'évolution du nombre d'unités de consommation donnera une image trop favorable d'une évolution qui ne sera pas forcément ressentie comme telle.

Ces quelques indications ayant été fournies, on ne va pas chercher à donner ici un inventaire complet de tous ces co-bénéfices ou coûts additionnels, mais plutôt examiner les différentes options qu'a pu proposer la littérature *beyond GDP* pour l'intégration de ces facteurs. Ce sera l'objet de la section 1 ci-dessous.

La deuxième question, celle des changements de préférence, a été beaucoup moins et même très peu explorée. Or elle revêt une importance majeure pour le sujet qui nous concerne. Relève de cette problématique tout ce qu'on qualifie de sobriété choisie, abordé dans le rapport thématique *Sobriété*¹. On attend de cette sobriété choisie qu'elle apporte une contribution significative à la décarbonation, en amplifiant l'effet des changements technologiques ou des interventions publiques. À ce titre, elle aura un certain nombre d'effets qui auront été spontanément répercutés dans les indicateurs standards, et c'est à ce titre qu'on les avait introduits dans la dernière ligne du tableau récapitulatif du Chapitre 1 (en fin de la section 2) : si les ménages perdent le goût de la viande rouge ou des voyages en avion, ceci renforcera l'effet des rationnements qu'on aura pu essayer d'imposer à leur consommation, avec des effets de bouclage sur l'activité et les prix qui affecteront les indicateurs de niveau de vie mais dont ceux-ci ne donneront qu'un bilan très incomplet.

En effet, contrairement à la taxation ou aux rationnements, on s'attend aussi à ce que cette sobriété choisie soit bien vécue, puisque spontanément adoptée par les agents. L'impact en bien-être de la réduction de la consommation d'un bien n'est pas le même selon qu'elle est strictement contrainte par rationnement, semi-contrainte par l'évolution des signaux prix, choisie de manière totalement spontanée, ou combinant tout ou partie de ces

¹ France Stratégie (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Sobriété*, op. cit.

différents leviers, qui peuvent d'ailleurs se renforcer, par exemple si contraintes et/ou taxation sont aussi des moyens de faire évoluer les préférences. Sur ce dernier point et pour faire pendant à la question *supra* des externalités, l'impact des mêmes interventions publiques n'est pas non plus le même si elles contribuent à remédier à des internalités, *i.e.* à aider les individus à se comporter selon leurs vraies préférences plutôt que selon des préférences « comportementales » biaisées par des évaluations incorrectes des bénéfices qu'ils retirent personnellement de leurs choix (voir le rapport thématique *Sobriété*).

Il faut donc rendre compte de ces différences entre évolutions du bien-être à préférence fixes et préférences variables. Mais on en voit aussitôt la difficulté conceptuelle : comment rendre compte de l'évolution d'un bien-être dont la formule évolue avec le temps ? La prise en compte de préférences variables va revenir à vouloir mesurer les choses selon des échelles de valeur élastiques, ce qui semble difficile voire impossible a priori. Tout ceci sera le sujet de la section 2.

1. Valoriser les co-bénéfices non monétaires de la transition

Dans cette section, on va donc mettre temporairement de côté tout ce qui relève de ces changements de préférences, pour rester le plus longtemps possible dans le cadre de préférences fixes, *a priori* plus stable et se prêtant mieux à la mesure. Il est préférable de ne pas cumuler d'entrée de jeu les difficultés car, même à préférences constantes, la question de savoir s'il faut et jusqu'où on peut tenter de produire des indicateurs de bien-être ou de qualité globale de l'existence reste très débattue, comme on l'a rappelé en ouverture de ce rapport.

Sans proposer d'examen approfondi de ce débat, on peut dire qu'il y a à son sujet quatre grandes positions possibles¹.

La première est plutôt une non-réponse, ou, plus exactement, elle consiste à prendre acte de l'impossibilité d'une réponse partagée. Il s'agit de l'approche par tableaux de bord consistant à multiplier les indicateurs éclairant les différents aspects des conditions de vie et du bien-être. La démarche peut être rattachée à l'approche du bien-être par les *capabilities* discutée dans le rapport thématique *Sobriété*, consistant à s'intéresser à la satisfaction des conditions nécessaires du bien-être plus qu'à la mesure de ce bien-être en lui-même.

¹ Fleurbaey M. et Blanchet D. (2013), *Beyond GDP. Measuring Well-Being and Assessing Sustainability*, Oxford, Oxford University Press ; Blanchet D. et Fleurbaey M. (2020), « Construire des indicateurs de la croissance inclusive et de sa soutenabilité : que peuvent offrir les comptes nationaux et comment les compléter ? », *Économie et statistique/Economics and Statistics*, n° 517-518-519, p. 9-24.

Ces tableaux de bord sont incontournables en pratique. Ce sont des viviers indispensables d'information et, à un moment ou à un autre, il faut passer ou repasser à des explorations domaine par domaine. On relèvera en particulier que la recension par Creutzig *et al.* (2022)¹ de l'ensemble des pistes de verdissement de la demande à effets potentiellement positifs sur le bien-être a choisi, pour ordonner ces pistes, de les ventiler dans les catégories du tableau de bord du développement durable actuellement promu par les Nations unies². Mais le problème bien connu de cette approche est celui que posent l'abondance d'informations et la difficulté à les hiérarchiser, or on a aussi besoin d'information synthétique. En pratique du reste, lorsque ces tableaux de bord servent de support à des arbitrages entre des politiques affectant différemment les différentes dimensions du bien-être, elles reviennent à des hiérarchisations totalement implicites et non transparentes de ces dimensions.

De quelles trois autres approches dispose-t-on alors pour rendre les critères d'arbitrage plus explicites ou mieux fondés ?

La première est celle des indices dits composites. Elle doit être évoquée compte tenu de la place qu'elle a longtemps tenue dans la recherche d'alternatives au PIB. Elle utilise diverses techniques pour rendre statistiquement commensurables les choses qui ne le sont pas spontanément, avant de les agréger en un indice unique selon des règles conventionnelles. La méthode est transparente puisque les règles d'agrégation relèvent d'une arithmétique relativement élémentaire. L'exemple emblématique est l'indice du développement humain, qui retient le PIB/tête comme l'une de ses trois composantes – faisant donc implicitement confiance à sa pondération interne par les prix –, et qui le combine à deux indicateurs captant deux autres dimensions majeures du bien-être ou du développement que sont l'éducation et la santé, respectivement le niveau d'éducation et l'espérance de vie à la naissance. Ce qui permet de rendre commensurables ces trois quantités est le fait de toutes les ramener à intervalle de variation compris entre zéro et un pour le plus bas et le plus élevé des niveaux observés à la date d'intérêt, avant de les combiner de manière multiplicative.

Quelle est la principale limite ? Il faut d'abord relever que l'approche n'est non monétaire qu'en apparence. Elle reste monétaire dans la mesure où l'agrégation génère mécaniquement une forme d'équivalence entre variations du PIB/tête et variations selon les autres dimensions : on peut calculer à combien de PIB/tête en plus ou en moins équivaut, au sens

¹ Creutzig F. *et al.* (2022), « [Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being](#) », *Nature Climate Change*, vol. 12(1), p. 36-46. Voir une présentation plus détaillée dans le rapport thématique consacré à la sobriété.

² Pour une présentation et ses résultats pour la France, voir Cling J.-P., Eghbal-Teherani S., Orzoni M. et Plateau C. (2019), « [Les différences entre pays de l'UE pour les indicateurs de développement durable : c'est \(surtout\) l'économie !](#) », Document de travail, Insee, n° G2019/06.

de l'indice, une année d'espérance de vie en plus ou en moins. Or il s'avère que, même si elle se veut transparente, la règle d'agrégation purement statistique peut conduire à des résultats peu cohérents avec l'objectif recherché, avec des valorisations des gains ou pertes d'espérance de vie qui peuvent être très éloignées de ce qu'on peut juger éthiquement acceptable¹. Au demeurant, un indicateur de même type qui ne combinerait que des composantes totalement non monétaires serait exposé à la même difficulté : les possibilités de compensation entre variations des unes et des autres détermineraient mécaniquement ce que vaut telle variation du sous-indicateur A en comparaison de telle autre variation du sous-indicateur B et la méthode n'offre aucune garantie que ces valorisations relatives refléteront les préférences individuelles ou des choix sociaux pertinents puisqu'étant le résultat non contrôlé d'une règle d'agrégation purement statistique.

Le respect total des préférences individuelles, à l'inverse, semble être un avantage de l'approche par questions subjectives sur le bien-être. Elle dispense d'avoir à formuler des principes d'agrégation des différentes composantes du bien-être, en s'en remettant à ce que les individus disent de leur bien-être global, dans une approche cardinale de celui-ci. C'est sur la base de pondérations personnelles qu'ils vont déclarer avoir des conditions de vie ou des existences plus ou moins favorables, typiquement en notant de 0 à 10 leur niveau de bien-être global ressenti, mais sans qu'il soit nécessaire d'explicitier ces pondérations, sauf lorsque, dans une deuxième étape, on veut s'intéresser à ce que recouvre exactement tel ou tel niveau de bien-être. Aller directement au résultat final est ce qui fait l'attrait de la méthode, permettant également de prendre en compte l'inégale répartition de ce bien-être subjectif. C'est quelque chose que ne peuvent pas faire des indicateurs composites fondés sur des données macro. Même quand ils essayent d'intégrer aussi les inégalités mesurées sur chacun des axes d'intérêt, ils ne mesurent pas l'impact du cumul des déprivations relatives, lorsqu'elles sont corrélées d'un axe à l'autre. Toutes ces qualités font l'intérêt de la méthode pour répondre à un grand nombre de questions, et elle est une candidate naturelle pour évaluer ce que pourrait être l'impact « tout compris » de la transition climatique (voir Encadré 2), y compris dans le cas de changements de préférences sur lesquels on reviendra plus loin.

¹ Ravallion M. (2010), « [Mashup indices of development](#) », Policy Research Working Paper, n° 5432, World Bank, juin.

Encadré 2 – Transition écologique et bien-être subjectif : quelques repères bibliographiques¹

Le bien-être subjectif offre une métrique capable de capter les effets de facteurs de la qualité de vie non quantifiables en termes monétaires. Cette approche offre donc de nombreuses pistes pour compléter et corriger l'idée d'une transition qui ne serait que coûteuse. En permettant de quantifier les coûts non monétaires d'ores et déjà associés à l'état présent du climat ainsi qu'à ses perspectives d'évolution, elle permet de faire ressortir les gains à attendre de l'action climatique. Mais d'autres effets sur le bien-être peuvent alléger voire dominer les coûts économiques de cette transition, en sus de ce qui passe par ses effets favorables sur le climat.

La contribution directe du climat et de l'environnement au bien-être subjectif

C'est un lieu commun de considérer que vivre dans un climat favorable est en soi un facteur de bien-être. Ceci a même pu contribuer à retarder la sensibilisation aux problèmes climatiques, le terme de réchauffement ayant pu être souvent perçu comme une évolution somme toute favorable par une partie de la population. Jusqu'à un certain seuil, il existe de fait un gradient positif de bien-être en fonction de la température. Mais le point de retournement serait autour de 18 °C de température moyenne². Là où réchauffement il y aura, les bénéfices potentiels directs ne concerneront donc que les climats plus froids, le réchauffement éloignant de cet optimum et ayant donc des effets en bien-être négatif pour la majorité de la population mondiale. De plus, le changement climatique ne concerne pas que la température moyenne, il est facteur d'évènements extrêmes. Ceux-ci ont un impact non ambigu sur le bien-être lorsqu'ils surviennent, mais aussi lorsqu'on vit sous leur menace. De manière générale, ce n'est pas que l'état instantané du climat qui influe sur le bien-être courant, mais les perspectives le concernant. La lutte contre le réchauffement climatique doit donc profiter au bien-être au fur et à mesure qu'elle freine le réchauffement courant ou ses perspectives.

¹ Cet encadré résume Perona M. (2022) « [De l'éco-anxiété à la transition heureuse ?](#) », *Note de l'Observatoire du bien-être*, n° 2022-09, CEPREMAP, juin.

² Maddison D. et Rehdanz K. (2011), « [The impact of climate on life satisfaction](#) », *Ecological Economics*, vol. 70(12), p. 2437-2445 ; Maddison D. et Rehdanz K. (2020), « [Cross-country variations in subjective wellbeing explained by the climate](#) », in Maddison D., Rehdanz K. et Welsch H. (dir.), *Handbook on Wellbeing, Happiness and the Environment*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, p. 105-126.

Des aspects de l'état de l'environnement autres que le climat contribuent aussi au bien-être subjectif. Mesurer ces effets offre d'ailleurs un moyen de les traduire en équivalents monétaires, par exemple lorsqu'on a besoin d'évaluer des consentements à payer en faveur de telle ou telle politique environnementale¹.

Les autres contributions possibles à une transition heureuse

Le coût net du verdissement peut aussi être amorti voire inversé par d'autres canaux. Dans une certaine mesure, la sobriété peut être favorable au bien-être si elle fait sortir d'une surconsommation génératrice d'autant de frustration que de bien-être véritable. Ceci peut être vrai même lorsque cette sobriété provient de restrictions imposées : lorsque les suppléments de consommation n'apportent que peu de satisfaction intrinsèque et n'améliorent le bien-être que par effet de comparaison², imposer des plafonds de consommation collectifs sur des biens polluants peut être favorable au bien-être de chacun³. Un effet favorable au bien-être est par contre la règle en cas de sobriété choisie. Certes, du côté de l'offre, moins de consommation voudra certes dire moins de production donc moins de revenus d'activité, ce qui peut aller dans le sens d'un plus faible bien-être. Mais cet effet dépressif sur l'activité peut être équilibré par le supplément d'activité induit par les investissements requis par le verdissement. Quel que soit finalement l'effet sur l'offre, il n'en restera pas moins que le bien-être sera plus élevé.

D'autres modalités de verdissement sont également susceptibles d'engendrer certains effets contribuant au bien-être : recyclage, dépenses pour l'environnement et même certaines formes de taxation verte⁴, malgré l'opposition à laquelle celle-ci s'est heurtée en France. Ici, le problème, est surtout de ne pas ignorer les inégalités d'exposition à ces effets, aussi bien positifs que négatifs. Le verdissement peut être bien vécu par des catégories plus favorisées ayant davantage de marge pour adapter leur mode de vie. Certains types d'investissements verts peuvent à l'inverse avoir des effets négatifs locaux, comme le montre la résistance aux implantations d'éoliennes. Tout cela importe pour l'acceptabilité des politiques.

¹ Frey B. S., Luechinger S. et Stutzer A. (2010), « [The life satisfaction approach to environmental valuation](#) », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 2(1), p. 139-160. Fleming C. M. et Ambrey C. L. (2017), *The Life Satisfaction Approach to Environmental Valuation*, Oxford, Oxford University Press.

² Senik C. (2014), *L'Économie du bonheur*, Paris, Le Seuil.

³ Lamb W. et Steinberger J. K. (2017), « [Human well-being and climate change mitigation](#) », *WIREs Climate Change*, vol. 8(6), p. e485.

⁴ Ortega-Gil M., Cortés-Sierra G. et Elhichou-Ahmed C. (2021), « [The effect of environmental degradation, climate change, and the European Green Deal tools on life satisfaction](#) », *Energies*, vol. 14(18).

Par ailleurs, le verdissement aura un effet positif sur le bien-être s'il peut permettre de réduire l'ampleur du phénomène d'éco-anxiété, attesté empiriquement et notamment au sein des générations les plus jeunes¹. Une première forme radicale de sortie de l'éco-anxiété est l'éco-colère : celle-ci, contrairement à l'éco-anxiété paralysante, est plutôt associée à un sentiment plus élevé de bien-être², celui qui peut découler de l'engagement dans l'action radicale. Mais même dans un registre plus modéré, passer d'une éco-anxiété paralysante à diverses actions personnelles en faveur de l'environnement peut être une source de bien-être : estime de soi qu'apporte le sentiment d'avoir accompli un acte utile et/ou satisfaction d'améliorer du même coup son image auprès des autres, avec toutefois la nécessité de bien distinguer entre attitude écologique de façade et pratiques effectives³.

Dans tous les cas, pour que des effets positifs se manifestent, il faut que les individus soient passés par une phase de prise de conscience des problèmes environnementaux. Ce n'est qu'une fois que cette prise de conscience a eu lieu qu'ils peuvent trouver un bénéfice à des actions volontaires ou trouver plus acceptables les changements de mode de vie qu'on leur impose.

Si toutes les études empiriques qui étayaient ces diverses hypothèses sont intéressantes, il faut néanmoins préciser que, à quelques exceptions près, elles doivent souvent se borner à relever des corrélations, sans garantie que ce qu'on mesure sont bien des effets causaux. Par exemple, l'effet négatif sur le bien-être d'habiter dans des zones plus polluées peut s'expliquer par des facteurs socio-économiques qui affectent le bien-être indépendamment de l'effet de la pollution proprement dit, d'une manière qu'il n'est pas toujours possible de contrôler exhaustivement. Ou le bien-être plus élevé d'individus engagés dans l'action climatique peut simplement traduire le fait que ce sont des catégories plus aisées à niveau de bien-être globalement plus élevé qui sont le plus spontanément enclines à ce genre d'engagement. Les recommandations en matière d'action publique ne sont évidemment pas les mêmes selon que c'est le bien-être qui favorise l'engagement climatique ou l'engagement climatique qui profite au bien-être⁴.

¹ Clayton S. et Karazsia B.T. (2022), « [Development and validation of a measure of climate change anxiety](#) », *Journal of Environmental Psychology*, vol. 69, p. 1014-1034.

² Stanley S.K. et al. (2021), « [From anger to action: Differential impacts of eco-anxiety, eco-depression, and eco-anger on climate action and wellbeing](#) », *The Journal of Climate Change and Health*, vol. 1.

³ Binder M. et Blankenberg A.K. (2017), « [Green lifestyles and subjective well-being: More about self-image than actual behavior?](#) », *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 137, p. 304-323.

⁴ Kasser T. (2017), « [Living both well and sustainably: a review of the literature, with some reflections on future research, interventions and policy](#) », *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, vol. 375(2095).

S'appuyer sur le bien-être déclaré pose néanmoins le problème de la relativité des échelles selon lesquelles les individus évaluent leurs situations. C'est certes une information intéressante de savoir qu'un individu A peut s'estimer moins heureux qu'un autre à situation parfaitement identique. Là où ceci pose problème, c'est lorsqu'il en résulte des incohérences avec les préférences ordinales¹. Un individu A peut très bien avoir des préférences telles qu'il préfère sa situation courante à celle d'un individu A' et, pour autant, noter son existence de manière moins favorable que ne le fait l'individu A', si cet individu A est d'un naturel beaucoup plus exigeant que A'. Il serait clairement incorrect de conclure qu'une collectivité majoritairement composée d'individus de type A est moins bien lotie que lorsqu'elle est majoritairement composée d'individus de type A'. On peut trouver problématique de s'appuyer sur une méthode qui peut donner un résultat contradictoire avec les préférences ordinales des individus.

Ce problème est celui que cherche à résoudre le troisième type d'approche. Elle n'a pas l'ambition de fournir « la » mesure scalaire de l'utilité cardinale. Elle ne fournit qu'une scalarisation ou un éventail de scalarisations possibles des préférences, mais conçue ou conçu pour systématiquement respecter les préférences ordinales. Elle s'inscrit dans la tradition de l'analyse coût-bénéfices, et ses résultats sont donc exprimés en termes monétaires, sans bien sûr que le recours à cet étalon renvoie à une quelconque idée de « marchandisation » des arguments non monétaires du bien-être : il s'agit juste d'un moyen de les rendre commensurables.

Pour y arriver, le genre de questions qu'on se pose est de savoir quelles sont les quantités de revenu en plus dont les individus estimeraient avoir besoin pour compenser le fait d'avoir perdu sur telle ou telle de ces dimensions non monétaires ou, symétriquement, quel gain de revenu est jugé équivalent en bien-être à une amélioration sur ces mêmes dimensions. La parenté avec la notion d'indice de prix à utilité constante est évidente puisque celui-ci, de la même manière, évalue combien de revenu en plus est requis pour conserver un niveau donné d'utilité face à des variations de prix. Le détail de la méthode est exposé en [Annexe 2](#). Elle consiste à se fixer des valeurs de référence à la fois pour les prix des biens marchands et les niveaux des arguments non marchands du bien-être, puis à calculer de quel revenu nominal aurait besoin l'individu avec ces valeurs de référence pour dégager le même niveau de satisfaction que celui qu'il atteint dans sa situation réelle.

Cette méthode du revenu équivalent (ou les variantes de celle-ci) a été plusieurs fois mobilisée pour la construction d'indicateurs qu'on peut qualifier d'indicateurs de revenu élargi, plus proches d'une mesure complète de bien-être que ne l'est le revenu². Sa

¹ Decancq K., Fleurbaey M. et Schokkaert E. (2015), « [Happiness, equivalent incomes and respect for individual preferences](#) », *Economica*, vol. 82, p. 1082-1106.

² Fleurbaey M. et Gaulier G. (2009), « [International comparisons by living standards](#) », *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 111(3), p. 597-624 ; Jones C. I. et Klenow P. J. (2016), « [Beyond GDP: welfare across](#)

généralité lui permettrait d'également traiter le cas de rationnements quantitatifs sur les biens et services marchands, auxquels ne répondent pas les mesures standard du niveau de vie ne tenant compte que du revenu et des signaux prix.

Le problème que pose cette méthode va néanmoins être celui de la mise en œuvre, qui rend difficile d'imaginer une application en production courante et pour davantage qu'une liste restreinte de déterminants non monétaires du bien-être. Plusieurs techniques ou combinaisons de techniques sont envisageables : s'appuyer sur les préférences révélées par les comportements, recourir aux techniques d'évaluation contingente, c'est-à-dire des questionnements directs sur les consentements des individus à payer ou à recevoir pour des modifications données de leurs situations ou de leur environnement, ou encore analyser les données de satisfaction subjective vues à l'instant. On peut aussi utiliser les calibrages de fonctions d'utilité issus de la littérature, pouvant eux-mêmes découler de ces différentes méthodes. Détailler ces différentes façons de faire sort du cadre de ce rapport. On insistera surtout sur le lien avec l'approche subjective du bien-être global. L'idée est qu'on peut mesurer le degré auquel les individus sont prêts à arbitrer entre facteurs matériels et autres aspects des conditions de vie en analysant empiriquement comment les uns et les autres affectent le bien-être subjectif, ce qui est envisageable avec des enquêtes croisant mesure directe du bien-être ressenti et composantes objectives.

L'Encadré 3 présente plus en détail quelques exemples de cette mise en œuvre, dont une application à la problématique du présent rapport, puisque tentant un chiffrage du degré auquel les gains d'espérance de vie associés à la baisse des émissions de gaz à effet de serre (GES) pourraient compenser les coûts économiques de cette baisse. La compensation qu'elle met en évidence n'est que partielle mais cela n'épuise pas le sujet puisqu'on ne se focalise que sur un seul des co-bénéfices de la transition. Néanmoins, il n'est pas acquis qu'une prise en compte plus large de l'ensemble des co-bénéfices soit d'ampleur suffisante pour totalement compenser les coûts monétaires de la transition, tout du moins dans la phase de transition où les coûts sont intégralement supportés et ressentis par les ménages, tandis que les co-bénéfices ne montent en régime que progressivement et de façon moins visible. Ceci rend d'autant plus intéressant d'étudier l'autre voie par laquelle les coûts de la transition pourraient s'avérer plus supportables aux intéressés que ne le diraient les indicateurs monétaires standard, celle d'une déformation des préférences dans le sens d'une valorisation croissante des comportements verts.

[countries and time](#) », *American Economic Review*, vol. 106(9), p. 2426-2457 ; Boarini R., Murtin F. et Schreyer P. (2015), « [Inclusive growth: The OECD measurement framework](#) », OECD Statistics working paper, n° 2015/06 ; Boarini R., Murtin F., Schreyer P. et Fleurbaey M. (2021), « [Well-being during the Great Recession: new evidence from a measure of multi-dimensional living standards with heterogeneous preferences](#) », *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 124(1), p. 104-138.

Encadré 3 – Mise en œuvre du revenu équivalent : quelques exemples

Comme premier exemple de mise en œuvre de la méthode du revenu équivalent mobilisant les données de bien-être subjectif, on reprend ici Boarini *et al.* (2015)¹, qui appliquent la méthode à la comparaison des niveaux de vie élargis (et de leur dynamique) entre les pays membres de l'OCDE et entre les périodes d'avant et d'après la crise économique (respectivement 1995-2007 et 2007-2011). Les dimensions non monétaires du bien-être prises en compte sont la santé, évaluée à travers l'espérance de vie T et le taux de chômage U . On note Y le revenu et S l'indicateur de bien-être subjectif, ce dernier étant issu du *Gallup World Pool*. Le principe est d'estimer une régression :

$$S_{i,t} = a_i + b_t + \alpha \log Y_{i,t} + \beta_T T_{i,t} + \beta_U U_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

puis de se fixer des valeurs de référence T_0 et U_0 pour les deux grandeurs non monétaires. On en déduit alors l'indicateur du revenu équivalent du pays i à la date t comme étant :

$$Y_{eq} = Y_{i,t} \exp[\beta_T(T_0 - T_{i,t})/\alpha] \exp[\beta_U(U_0 - U_{i,t})/\alpha]$$

dont on voit qu'il équivaut bien à une forme dérivée de l'utilité subjective S , expurgée des facteurs idiosyncrasiques a_i et b_t et de l'effet d'utilité marginale décroissante de revenu capté par le terme en $\alpha \log Y_{i,t}$ de la première équation : la transformation qui fait passer à la deuxième équation nous ramène à une élasticité unitaire par rapport au revenu. Les niveaux de référence choisis sont l'espérance de vie maximale observée dans le panel de pays considéré et un taux de chômage égal à zéro.

L'équation de départ pourrait être estimée en mobilisant les données individuelles de satisfaction et de revenu, mais l'erreur de mesure sur ce dernier biaise vers zéro l'estimation de α , biaisant vers le haut les termes en β_T/α et β_U/α : cette technique surestime fortement les variations de revenu nécessaires pour compenser des variations données de T ou de U . C'est la raison pour laquelle la méthode n'est appliquée qu'aux données nationales sur lesquelles l'erreur de mesure de Y est *a priori* limitée. Empiriquement, la régression est estimée sur la sous-période 2005-2010. On trouve qu'un point de chômage supplémentaire ou une année d'espérance de vie en moins équivalent à des baisses d'environ 5 points du revenu monétaire. L'équation ayant été estimée sur données agrégées, cette approche ne capte pas des différences des paramètres par niveau de revenu. L'analyse ne prend pas non plus en compte les inégalités d'espérance

¹ Boarini R. *et al.* (2015), « [Inclusive growth...](#) », *op. cit.*

de vie ou d'exposition au chômage : elle ne capte donc pas l'incidence des cumuls d'inégalité le long des différentes dimensions du bien-être. En revanche, les variations de l'inégalité des revenus entre pays ou au cours du temps sont prises en compte en calculant le revenu équivalent non pas pour le revenu moyen, mais pour les différents quantiles de revenu, suivi d'une agrégation par moyenne généralisée avec test de différentes valeurs du paramètre d'aversion à l'inégalité.

Appliquée en comparaison internationale, la méthode conduit à des corrections substantielles de ce que donne la seule observation des revenus. L'espérance de vie de référence étant celle du Japon, la contribution de ce paramètre est égale à zéro pour ce pays, par construction. En revanche, le niveau du chômage génère un écart de -9 % et l'inégalité des revenus de -23 %. Dans le cas de la France, ces deux dernières contributions sont de -15 % et -13 % respectivement (plus de contribution du chômage mais moins des inégalités), complétées par une contribution d'environ -9 % de la longévité, conduisant à un écart total de 37 % entre revenu moyen par tête et moyenne généralisée du revenu équivalent. Le même écart global monte à près de -60 % dans le cas des États-Unis.

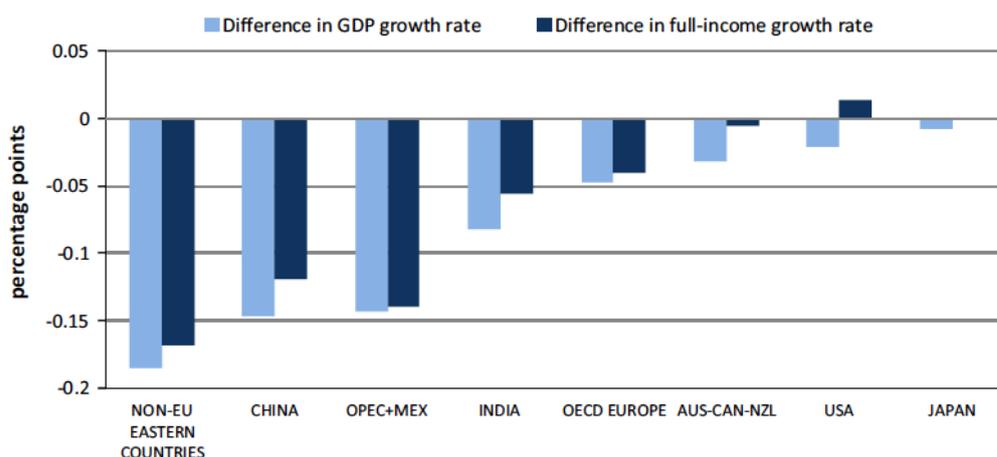
Appliquée en variation sur la période d'après crise, la méthode fait apparaître des constats différenciés entre pays. La hausse du chômage contribue quasiment partout à une évolution plus défavorable ou moins favorable de l'indicateur de niveau de vie multidimensionnel en comparaison du PIB/tête, de manière très marquée en Espagne, par exemple. La contribution de l'inégalité est davantage variable, tantôt négative (tout particulièrement en Grèce) tantôt positive, sous l'effet des politiques redistributives et aussi sans doute pour partie du recul des revenus financiers. Dans tous les pays cependant l'espérance de vie a continué de progresser et, au total, on a donc un nombre important de pays pour lesquels le niveau de vie multidimensionnel a continué de progresser, malgré une croissance presque partout négative du PIB/tête (il a reculé en moyenne de 0,5 % par an et de plus de 5 % par an dans quatre pays qui sont l'Estonie, l'Espagne, la Grèce et l'Irlande).

Dans une version enrichie de ce travail¹, l'appui sur les données de bien-être subjectif est conservé pour ce qui est de l'estimation du coût non monétaire du chômage. Une approche calibrée est en revanche retenue pour l'effet de la durée de vie, sur la base de la littérature consacrée aux estimations de la valeur de la vie humaine. C'est également le cas d'une application centrée sur les effets pouvant être attendus des politiques de réduction des émissions de gaz à effet

¹ Boarini R. *et al.* (2021), « [Well-being during the Great Recession...](#) », *op. cit.*

de serre, proposée par Serres et Murtin¹. Elle considère les effets négatifs sur la croissance du PIB de politiques de réduction des émissions de 25 % et 50 % respectivement, et leur compensation par les effets induits sur l'espérance de vie, pour huit zones géographiques. Les deux catégories d'effets sont estimées d'après Bollen *et al.* (2009)² et traduits en termes d'indicateur de revenu élargi intégrant la valorisation monétaire des gains d'espérance de vie. L'effet positif sur l'espérance de vie domine l'effet négatif sur la croissance du PIB aux États-Unis, et il le compense presque totalement pour le Japon, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et le Canada (voir Graphique 6). La correction est également significative pour la Chine et l'Inde, mais insuffisante pour compenser des pertes de croissance qui sont de plus grande ampleur. Les effets sont plus limités partout ailleurs, mais il ne s'agit que d'un exemple de mise en œuvre de la méthode qui n'inclut pas l'ensemble des co-bénéfices potentiels de la transition climatique.

Graphique 6 – Réduction de 50 % des émissions de GES à l'horizon 2050 : impacts sur la croissance annuelle moyenne du PIB et d'un revenu élargi prenant en compte une valorisation monétaire des gains induits pour l'espérance de vie



Source : de Serres et Murtin (2014), à partir de scénarios repris de Bollen *et al.* (2009)

¹ de Serres A. et Murtin F. (2014), « [Your Money or Your Life: Green Growth Policies and Welfare in 2050](#) », *Environmental & Resource Economics*, vol. 63(3), p. 571-590.

² Bollen J., Guay B., Jamet S. et Corfee-Morlot J. (2009), « [Co-benefits of climate change mitigation policies: literature review and new results](#) », OCDE, Economics department working papers, n° 693.

2. Transition et bien-être avec des préférences évolutives

Raisonnement en tenant compte de l'évolution des préférences n'est pas dans la tradition des économistes et la façon dont sont construits les indices de niveau de vie s'appuie implicitement sur une hypothèse de préférences fixes : ce que mesure ou vise à mesurer un indice de prix, c'est ce qu'il en coûte de préserver son niveau d'utilité lorsque seuls les prix varient et, en première approche, cette question n'a de sens qu'avec des fonctions d'utilité stables. Vouloir mesurer un coût de la vie ou une croissance du revenu réel avec des préférences variables, c'est comme vouloir comparer la taille de différents objets avec un mètre élastique qui se distendrait ou se contracterait en même temps qu'on passe d'un objet à l'autre. Le problème paraît insoluble et c'est sans doute la raison pour laquelle, jusque récemment, il n'a été que très peu envisagé dans la littérature¹.

Pour autant, l'hypothèse de fixité des préférences a toutes chances d'être l'exception plutôt que la règle, tant pour les comparaisons instantanées que pour l'analyse de la croissance en longue période. La question a également émergé d'un point de vue de plus court terme durant la crise du covid : le choc auquel on a assisté a été une double modification brutale de la structure de l'offre et de la structure de la demande, puisque la crise sanitaire a brutalement modifié les préférences relatives aux différents types de biens et services, certains biens devenant tout d'un coup essentiels, pendant que d'autres devenaient dispensables. Ceci a conduit à une double question² : comment interpréter dans un tel contexte les indicateurs statistiques standard qui tablent implicitement sur la stabilité des préférences, et à quelles vraies mesures de l'utilité ou du bien-être peut-on essayer de les confronter ?

Ces deux questions sont d'autant plus pertinentes pour le verdissement des préférences que, cette fois-ci, les modifications de préférences ne sont pas un facteur perturbateur exogène dont on aurait juste besoin de s'accommoder : on en escompte un rôle actif dans l'évolution vers des comportements plus sobres³. Il devient d'autant plus difficile de continuer à les ignorer. Mais comment le prendre en compte ? Compte tenu du caractère encore peu balayé du sujet, on va se borner à quelques pistes.

¹ Des exceptions sont Samuelson P. A. et Swamy S. (1974), « [Invariant economic index numbers and canonical duality: Survey and synthesis](#) », *The American Economic Review*, vol. 64(4), p. 566-593 et Balk B. M. (1989), « [Changing consumer preferences and the cost-of-living index: Theory and nonparametric expressions](#) », *Journal of Economics*, vol. 50(2), p. 157-169.

² Baqaee D. R. et Farhi E. (2020), « [Nonlinear production networks with an application to the COVID-19 crisis](#) », Working paper NBER n° 27281 ; Baqaee D.R. et Burstein A. (2022), « [Welfare and output with income effects and taste shocks](#) », *The Quarterly Journal of Economics*.

³ Konc T., Savin I. et van den Bergh J.C. (2021), « [The social multiplier of environmental policy: Application to carbon taxation](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 105 ; Mattauch L., Hepburn C., Spuler F. et Stern N. (2022), « [The economics of climate change with endogenous preferences](#) », *Resource and Energy Economics* ; Mattauch L., Stern N. et Konc T. (2022), « [For climate economics, preferences can and should be treated as endogenous](#) », VoxEU.

La première piste consiste à s'en remettre au message des indicateurs subjectifs, en acceptant l'hypothèse qu'ils informeront de manière légitime sur un niveau de bien-être courant découlant de ces préférences variables. Prenons l'exemple d'une taxation pigouvienne des émissions. Si taxation il y a, on peut conjecturer que l'indicateur subjectif intègrera à la fois l'effet négatif de la taxe et le fait que l'individu aura appris plus ou moins vite à relativiser les effets ou à en retirer de l'information sur les conséquences du changement climatique. En règle plus générale, on peut même dire que c'est dans la nature de ces indicateurs subjectifs de prendre en compte toutes les formes possibles de changements de préférences. C'est par exemple en ce sens qu'on peut interpréter le plus connu de leurs messages stylisés, le paradoxe d'Easterlin¹ selon lequel la croissance n'a que de faibles effets sur le bien-être subjectif. L'une des explications possibles de ce paradoxe est le fait que les besoins ou les aspirations s'élèvent au fur et à mesure de l'amélioration des conditions de vie matérielles, et que c'est l'écart entre conditions de vie et aspirations qui détermine le bien-être déclaré. Il ne s'agit pas forcément d'une modification des préférences ordinales, mais au moins d'une modification de la façon de les traduire en termes cardinaux.

Si cette explication de l'effet Easterlin est la bonne, elle pourrait jouer en sens inverse le long d'un sentier de transition verte : le scénario de la sobriété choisie serait un scénario où les aspirations en termes de consommation se mettraient à freiner voire à régresser en même temps que freinerait ou régresserait la croissance, limitant d'autant la chute du bien-être subjectif. Il se pourrait bien sûr que l'inversion du processus ne soit que partielle ou très progressive, si les aspirations s'ajustent plus difficilement à la baisse qu'elles ne le font à la hausse. Mais, si tel devait être le cas, ceci serait tout aussi bien pris en compte : les indicateurs subjectifs commenceraient par fléchir dans un premier temps avant d'éventuellement rejoindre leur niveau d'avant transition, voire de passer au-dessus. Tout ceci plaide pour regarder avec intérêt comment se comporteront ces indicateurs subjectifs le long d'une trajectoire de transition à préférences évolutives.

Mais on peut explorer ce que peuvent aussi avoir à en dire les différents types d'indicateurs de niveau de vie généralisés introduits à l'instant. *A minima*, puisqu'on continuera en toute hypothèse de calculer des niveaux de vie à prix chaînés, on a aussi envie de savoir ce que sera le comportement de ces indicateurs standards.

Commençons par le cas d'un changement pur de préférences, à prix et revenu donné, exposé formellement en [Annexe 3](#). On peut distinguer deux cas de figure : (a) celui de l'effet en bien-être d'un *nudge*, visant à corriger une internalité, i.e. des décisions prises par l'individu sur la base de préférences comportementales biaisées ne représentant pas

¹ Easterlin R.A. (1974), « [Does economic growth improve the human lot?](#) », in David P.A. et Reder M. W. (dir.), *Nations and Households in Economic Growth: Essays in Honor of Moses Abramovitz*, Academic Press.

ses préférences véritables¹, ou bien (b) l'effet d'un changement de ces préférences véritables. Dans le contexte de la transition écologique, les internalités à corriger relèveraient typiquement d'une perception erronée par les ménages de l'ampleur des dommages induits, sur eux-mêmes, par la consommation des biens polluants.

Le premier cas, en fait, se ramène à un cas de préférences fixes, si on considère que c'est à l'aune des préférences véritables qu'il convient de comparer les états avant et après application du *nudge*. Dans cette hypothèse, puisque le comportement sans le *nudge* est sous optimal au sens de ces préférences, sa mise en place améliore le bien-être et un calcul de revenu équivalent rendra compte de cette amélioration, à supposer qu'on ait bien sûr moyen d'identifier ces préférences véritables. En revanche, le revenu réel se contentera de conclure au *statu quo* puisque ni le revenu nominal ni les prix n'auront bougé.

Dans le deuxième cas, en revanche, on a bien affaire à un changement complet de préférences, et la question se pose de savoir comment gérer ce changement. La comparaison directe des utilités cardinales n'a pas de sens, encore moins que quand on raisonne à préférences inchangées. Mais les préférences ordinales posent elles aussi problème, quelle que soit la façon dont on essaierait de les cardinaliser : en effet, si l'état final apparaît préféré à l'état initial quand on se place du point de vue des préférences finales, c'est l'inverse qui est vrai quand on se place du point de vue des préférences initiales, la raison étant que chaque panier maximise l'utilité pour les préférences auxquelles il est associé. On ne voit donc pas quel message il convient de privilégier.

La méthode du revenu équivalent n'offre pas de réponse miracle à ce problème, car il ne peut pas y en avoir, mais elle permet de l'envisager sous une autre perspective. D'un point de vue technique, il n'y a pas d'obstacle à sa mise en œuvre, car elle n'implique pas de considérer des individus à préférences identiques². On n'a pas à se poser la question de savoir comment chaque individu se sentirait avec des préférences qui ne sont pas les siennes. C'est à l'aune de ces préférences qui lui sont propres qu'il évalue quel niveau de revenu hypothétique le rendrait indifférent entre son état actuel et une situation où il ferait face au système de prix qu'on a choisi pour référence. Et c'est sur la base de ces revenus équivalents qu'on réalise des comparaisons interpersonnelles ou à travers le temps, lesquelles peuvent aussi bien être des comparaisons de deux individus vivant à deux périodes que le même individu avec deux systèmes de préférence successifs.

¹ Dans l'esprit de Fahri E. et Gabaix X. (2020), « [Optimal taxation with behavioral agents](#) », *American Economic Review*, vol. 110(1), p. 298-336 ; List J.A., Rodemeier M., Roy S. et Sun G. (2022), « [Judging nudging: toward an understanding of the welfare effects of nudges versus taxes](#) », *Framed Field Experiments*, n° 0765. Voir également le rapport thématique [Sobriété](#).

² Fleurbaey M. et Tadenuma K. (2014), « [Universal social orderings: An integrated theory of policy evaluation, inter-society comparisons, and interpersonal comparisons](#) », *The Review of Economic Studies*, vol. 81, p. 1071-1101.

L'incertitude sur le message final n'est pas levée pour autant, mais elle prend une autre forme : c'est du système de prix choisi comme référence que va dépendre le résultat de la comparaison et non pas du fait qu'on se place du point de vue de l'utilité initiale ou de l'utilité finale. En l'occurrence, toujours dans le cas où seules bougent les préférences, leur changement sera jugé neutre si on prend pour prix de référence le système de prix commun aux deux états, et il pourra être jugé améliorant aussi bien que détériorant si on prend des prix différents.

Cette indétermination est-elle dirimante ? Dans cet exemple, puisqu'on s'est placé à prix fixes, on peut considérer satisfaisant d'en faire les prix de référence. Le message est dans ce cas que, d'un état à l'autre, l'individu a juste opté pour un usage différent de ses ressources, mais sans qu'on puisse dire que son niveau de vie a bougé. Là, le message se trouvera être cohérent avec ce que dira la mesure statistique usuelle du niveau de vie : puisque ni le revenu ni les prix n'ont changé, elle conclura toujours au *statu quo*. Avec ses nouvelles préférences, l'individu est certes mieux que s'il avait conservé ses choix initiaux. Mais à l'aune des anciennes préférences, il était mieux dans son état initial. On se refuse à donner la priorité à l'une ou l'autre des deux perspectives.

En revanche, la question du système de prix pertinent va se poser dès qu'on aura à la fois changement des prix et des préférences et donc, en particulier, quand on se demandera comment les changements de préférence pourraient alléger le coût ressenti d'une taxation.

Que peut-on d'abord dire de la façon dont le changement de préférences va affecter l'indicateur de niveau de vie standard, le revenu nominal déflaté par un indice de prix chaînés ? Comme on l'a vu plus haut, à préférences constantes, la taxe génère un effet de substitution qui amortit déjà une partie de l'effet qu'on aurait sans possibilité de substitution. Cet effet est en principe pris en compte par l'indice chaîné, au problème près de la *path dependance*¹ à laquelle peut conduire ce chaînage même lorsqu'on est à préférences constantes.

Le verdissement des préférences devrait renforcer cet effet de substitution, ajoutant donc un deuxième facteur de modération des effets de la taxe, mais en introduisant du même coup un second problème de *path dependance*. Soit toujours l'état A initial avec des préférences brunes et un état B final avec des préférences verdies, et un même profil de montée en régime de la taxe entre ces deux périodes, mais deux scénarios pour la trajectoire des préférences : un scénario où leur verdissement devance la montée en régime de la taxe, ou un scénario où le verdissement des préférences lui fait suite. Il est facile de deviner que le message des indices chaînés ne sera pas le même dans les deux cas : dans le premier cas, la hausse du prix du bien brun sera répercutée dans l'indice des

¹ Le fait que la comparaison de deux états dépend de la trajectoire de prix et de quantité qui est suivie entre ces deux états.

prix avec un poids qui aura déjà commencé à décroître, et pas dans le second. La baisse de niveau de vie sera donc jugée plus faible le long de la première trajectoire que le long de la seconde, alors même que les deux trajectoires ont le même point de départ et le même point d'arrivée.

Même si l'indicateur standard ne sera pas nécessairement muet sur l'effet modérateur du changement de préférences, ce qu'il en dira sera ainsi incomplet et plus ou moins biaisé. Mais en comparaison de quelle vraie mesure évaluer ce biais ? Si cette vraie mesure est celle du revenu équivalent, on va devoir assumer le fait que le message dépendra du système de prix choisi pour référence. On peut l'illustrer par une simulation, celle du Graphique 7, qui permet la comparaison avec le comportement du niveau de vie à prix chaînés, pour à nouveau deux versions du revenu équivalent : le revenu équivalent calculé en prenant les prix initiaux pour référence et le revenu équivalent utilisé en prenant à chaque date non pas les prix terminaux – ce qui ne serait pas opérationnel vu qu'ils ne sont pas connus à la date courante – mais les prix de cette date courante, qualifiés de prix finaux « mobiles ». Ceci veut dire que, à chaque date, on calcule de combien a décroché le revenu équivalent par rapport à son niveau de départ en évaluant l'un et l'autre avec les prix courants comme référence.

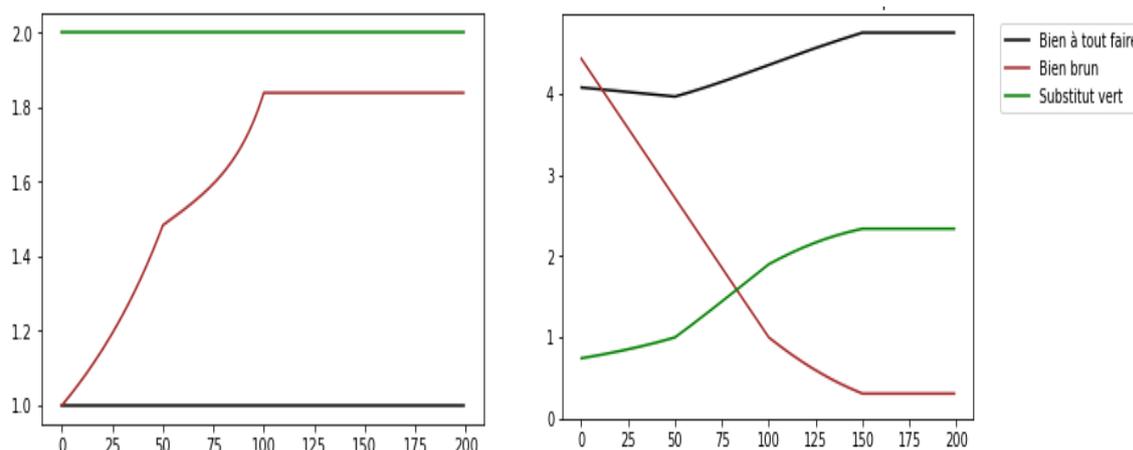
Le scénario qui est simulé est un scénario où le régulateur ajuste l'évolution de la taxe pour atteindre le même quota de consommation du bien brun à la fin de la période de montée en régime de la taxe que pour les simulations des Graphiques 4 et 5. À mi-chemin de cette montée en régime (en $t = 50$), les préférences du consommateur commencent à verdir, ce qui a pour effet de ralentir la progression de la taxe puisqu'une partie de l'objectif est déjà spontanément atteinte. Enfin, une fois l'objectif totalement atteint pour le régulateur, les préférences continuent de verdir spontanément pendant un certain temps, de $t = 100$ à 150 . On se place toujours dans le cas d'une taxe non recyclée pour être dans la situation *a priori* la plus défavorable pour les consommateurs. On notera que l'évolution des préférences peut aussi bien traduire une véritable perte de goût pour le bien brun que le poids croissant d'une préférence morale poussant l'individu à se passer de ce bien au nom de l'intérêt général, internalisant d'une certaine façon l'externalité que la taxe vise elle aussi à corriger, selon une logique décrite dans l'Encadré 2 à propos des préférences subjectives.

Le Graphique 7c compare l'évolution du revenu déflaté à prix chaînés et les deux versions du revenu équivalent, celle qui prend pour référence les prix initiaux d'une part et celle qui prend pour référence les prix finaux « mobiles ». On peut déjà noter que, sans surprise, la baisse du revenu déflaté est moindre que dans le cas de la taxation à préférences fixes du Graphique 4 : dans le scénario retenu, son poids dans la consommation est certes le même, mais il y a quand même moindre détérioration du niveau de vie du fait que, avec les préférences évolutives, une taxation plus faible suffit à atteindre la même cible de consommation.

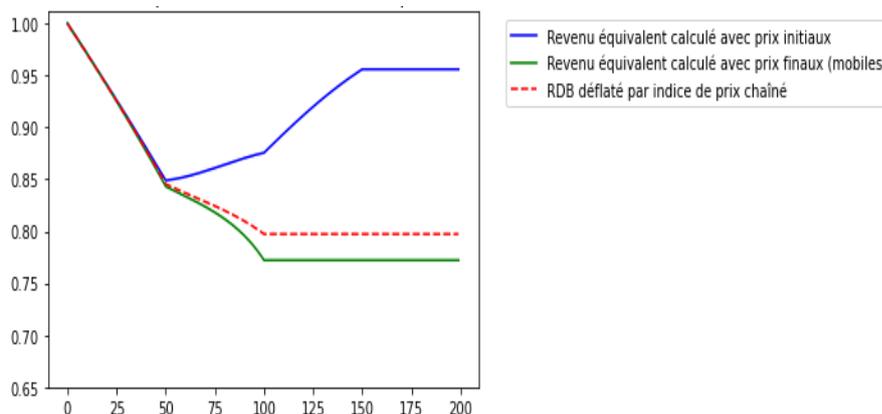
Ensuite, lorsque les prix de référence sont ceux de la période initiale, le revenu équivalent évolue sous l'effet de deux forces contradictoires : la hausse de la taxe joue logiquement dans le sens d'une réduction du revenu équivalent, mais le changement de préférences a un effet positif puisqu'il permet au consommateur de s'éloigner d'un bien qui est devenu cher par rapport au prix qu'il a dans le système de référence, à savoir le prix initial sans taxe. On voit sur le graphique que ce second effet domine le premier, puisque le revenu équivalent change de pente dès lors que les préférences verdissent. À la fin de la transition, le revenu équivalent reste inférieur à 1, mais dans le cas limite où le consommateur deviendrait totalement « vert » et ne souhaiterait plus du tout consommer de bien brun, même aux prix initiaux, son revenu équivalent remonterait à un puisqu'il serait devenu complètement indifférent au prix du bien brun qui n'est plus désiré.

Graphique 7 – Scénario de taxation du bien brun (sans recyclage de la taxe) en présence d'un verdissement des préférences

a. Prix b. Consommation



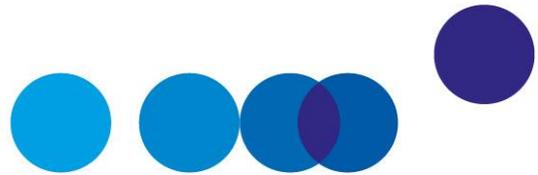
c. RDB réel et revenu équivalent



Source : auteurs

Sur cette première trajectoire du revenu équivalent, l'effet positif du changement de préférences provient du postulat implicite selon lequel le bien brun est « trop cher » lorsque son prix se situe au-dessus de son niveau initial, et qu'on bénéficie donc de tout changement de préférences qui nous conduit à consommer moins de ce bien. Mais cette hypothèse peut toutefois être jugée arbitraire : pourquoi le prix initial du bien brun constituerait-il une sorte de « juste prix », alors même que c'est un prix qui ignore l'externalité négative du bien brun ? Si on prend l'autre convention de choisir les prix courants (ou « finaux mobiles ») comme système de référence, à défaut du prix complètement final, l'effet du changement de préférences est dans ce cas totalement neutralisé pour ce qui est du revenu équivalent courant, égal par nature au revenu nominal courant. En revanche, à chaque période, on procède à une ré-estimation du revenu équivalent initial et celui-ci augmente au cours du temps, car la situation initiale paraît rétrospectivement de plus en plus avantageuse au fur et à mesure que le prix de référence du bien brun croît, car, en comparaison du prix avec taxe, elle revenait à subventionner la consommation brune. Le verdissement de ses préférences ne change ici rien au fait qu'il ne peut plus profiter de sa situation initiale très favorable, d'où la baisse non compensée de son revenu équivalent.

On se retrouve au final avec deux points de vue différents et complémentaires sur les changements à l'œuvre, qui encadrent l'évolution du revenu réel à prix chaîné, et dont l'un va bien dans le sens d'une compensation des coûts par les changements de préférence, mais sans non plus que ce point de vue puisse être totalement privilégié. La mesure de l'évolution des niveaux de vie était déjà affectée d'effets de perspective incontournables avec des préférences non homothétiques mais stables, le problème ne peut qu'être amplifié lorsqu'on a affaire à des préférences variables.



CONCLUSION

Quelles conclusions d'ensemble retirer de cet examen ? La question était de savoir comment on pouvait offrir une vision synthétique des effets en bien-être de la transition, de façon aussi quantifiée que possible.

Le premier message est que, contrairement à ce que laissent parfois entendre des critiques sommaires du PIB et par extension de la comptabilité nationale, les indicateurs économiques usuels ont une contribution importante à apporter au diagnostic. Qu'ils ne soient pas des indicateurs de bien-être ne les empêche pas d'informer sur une partie significative de ce dernier, qui comprend tout ce qui passe par l'évolution des revenus nominaux et des prix. Du reste, en pratique, la critique du PIB et de la comptabilité nationale ne va jamais jusqu'à dire qu'on peut se désintéresser de la mesure de ces dimensions monétaires : personne n'envisage de se priver d'outils de mesure des revenus et du pouvoir d'achat, surtout dans le contexte actuel. C'est ce rôle qu'a le PIB quand on l'envisage avant tout comme une mesure des revenus générés par la production. C'est aussi le rôle d'un autre indicateur phare de la comptabilité nationale, le revenu disponible brut des ménages, dans sa version de base comme dans les versions élargies tentant de prendre en compte les formes de revenu implicite que constituent les services publics en nature. Et ces indicateurs macro sont une base de départ naturelle pour des diagnostics différenciés par catégorie de ménages.

Ceci ne veut pas dire que ce volet de la mesure du bien-être ne soulève aucune question et que tout est en ordre de marche pour qu'il contribue au mieux au suivi des effets en bien-être de la transition. Les cinq principaux sujets qu'on a identifiés sont :

- L'asymétrie que ce suivi engendre entre effets des rationnements sur la consommation de biens selon qu'ils passent par les prix ou portent directement sur les quantités, alors que les effets en bien-être sont de même ordre.
- Les problèmes spécifiques que posent les partages volume-prix pour les services publics, dans la mesure où eux aussi seront amenés à se verdier.
- Le fait qu'une partie des effets de la transition seraient à lire au niveau du compte de capital des ménages, dans la mesure où ces ménages sont eux aussi concernés par la problématique des actifs échoués.

- La façon dont la transition écologique est susceptible de faire à nouveau bouger la frontière qui sépare production marchande et administrations publiques d'une part, et production domestique d'autre part, la comptabilité nationale ne s'intéressant pour l'essentiel qu'aux deux premières formes de production.
- La question de l'*inflation inequality* : le fait que les signaux prix auront des effets a priori différenciés par catégorie de ménages impose d'en tenir davantage compte dans les messages sur l'évolution des inégalités, en sus des évolutions relatives des seuls revenus nominaux.

Soulever ces points ne veut pas dire qu'on est persuadé qu'ils seront quantitativement majeurs. Il se peut très bien qu'ils s'avèrent de deuxième ordre, ce qui conforterait donc les indicateurs standards. Mais on ne peut pas en présager totalement. Une veille s'impose donc *a minima*. S'il s'avérait qu'ils ont un rôle important, les ignorer renforcerait le sentiment déjà très répandu d'un fort décalage entre mesure et ressenti du niveau de vie.

Ceci étant, pour l'essentiel, l'apport de ces indicateurs concerne avant tout les effets négatifs de la transition. Ces indicateurs intégreront certes l'effet positif des revenus additionnels générés par les activités vertes, et éventuellement des baisses de prix que le progrès technique pourrait autoriser sur les biens ou services qu'elles produiront, mais on peut conjecturer que, au moins à court-moyen terme, ceux-ci seront dominés soit par les pertes de revenu des activités brunes en disparition, soit par les hausses de prix ou les rationnements imposés par la transition.

Or il serait évidemment déséquilibré de ne présenter la transition qu'en termes de coût. Il faut aussi prendre en compte les bénéfices qui en sont attendus, majoritairement non monétaires. Peuvent-ils être de nature à complètement neutraliser les coûts ? Il allait au-delà des moyens de cette mission de répondre quantitativement à cette question. Mais on a présenté les pistes offertes par la littérature pour exprimer ces co-bénéfices en des termes monétaires permettant d'envisager une analyse coût-bénéfices globale, si on souhaite s'orienter dans cette direction.

Moins abordé par la littérature est un autre élément, le verdissement des préférences, qui aurait pour double effet de rendre la transition à la fois plus rapide et plus supportable. Celui-ci pose à la construction d'indicateurs monétaires élargis des questions nouvelles, auxquelles on peut apporter au mieux des réponses partielles, sans pouvoir résoudre définitivement le fait que, avec des préférences qui évoluent, les constats dépendent du point depuis lequel on effectue la mesure.

Face à ce double problème des co-bénéfices non monétaires et des changements de préférence, une solution plus simple car plus directe est de faire confiance aux mesures subjectives du bien-être, en considérant les biais qui peuvent les affecter comme de deuxième ordre. Et il reste toujours la possibilité de renoncer à l'ambition de messages synthétiques en

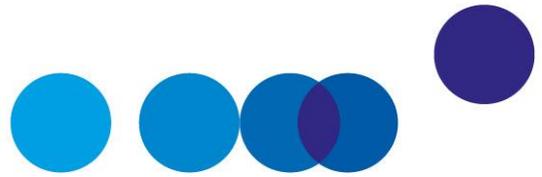
se contentant de faire coexister les différents types d'indicateurs sous forme de tableaux de bord, au risque que leur utilisation implique une agrégation implicite peu transparente.

À vrai dire, toutes ces approches ne sont pas exclusives, elles se complètent. La mesure subjective est intéressante en soi : la perception subjective qu'ont les individus de leur réalité est elle aussi une forme de réalité qu'il est pertinent de mesurer pour ce qu'elle est, en complément des mesures objectives. Par ailleurs, elles donnent un moyen d'évaluer les consentements à payer pour les différentes composantes non monétaires du bien-être, dont on a besoin pour les calculs de niveau de vie élargi. On peut ensuite choisir de pousser plus ou moins loin la construction de tels niveaux de vie, en continuant de mesurer à part celles des dimensions du bien-être qu'on pourrait juger définitivement irréductibles à l'unité de compte monétaire. Combiner les approches ramène *in fine* à une logique de tableau de bord, mais un tableau de bord restreint articulé autour d'un cadre d'analyse cohérent.

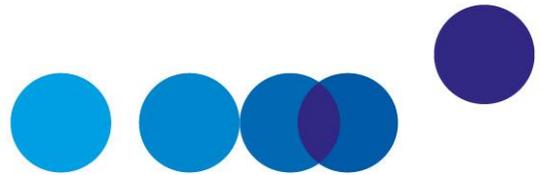
Ceci étant, si l'objectif est une analyse coût-bénéfice aussi inclusive que possible des effets de la transition, il faut rappeler que la majeure partie des bénéfices ne sont attendus ni au niveau national ni dans le court ou moyen terme de cette transition. Il ne serait donc pas anormal que les coûts prédominent pour le niveau national et de court moyen terme qui était le champ de la mission. Faire ressortir l'apport positif de la transition relève d'autres indicateurs que la mesure du bien-être local instantané. C'est le domaine des indicateurs de soutenabilité de ce bien-être ou des niveaux de vie, envisagés à un niveau global plutôt que purement national. C'est un sujet que cette note n'avait pas vocation à aborder mais l'idéal serait évidemment d'aboutir à un cadre cohérent pour mesurer conjointement les effets de la transition sur le bien-être courant et la soutenabilité de ce dernier, dans l'esprit qui avait déjà été celui de la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi¹.

Enfin, il convient de mentionner que ce qui a été discuté ici sont des indicateurs pouvant mesurer comment évolueront les niveaux de vie et le bien-être au cours de la transition. Ceci n'informerait pas directement sur les effets propres de cette transition. Si on veut répondre à cette question, il faudrait être également en mesure de reconstituer les évolutions contrefactuelles que ces indicateurs auraient connues sans investissement dans la transition. C'est la comparaison entre évolutions constatées et ces contrefactuels qui répondrait véritablement à la question des effets de la transition, si telle est la question à laquelle on veut répondre.

¹ Stiglitz J., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), *Richesse des nations et bien-être des individus*, Paris, Odile Jacob. Pour une démarche récente s'inscrivant dans cette logique, voir Labroue S. et Bureau D. (2022), « [Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable : que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?](#) », FAERE Working Paper, n° 2022.09, ainsi que les éléments présentés en dernière partie du rapport thématique *Indicateurs et données* : voir France Stratégie/Insee (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Indicateurs et données*, rapport thématique coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger, mai.



ANNEXES



ANNEXE 1

REVENU RÉEL ET BIEN-ÊTRE : QUELLE CONNEXION ?

Pour fixer les idées sur le rapport entre mesure du niveau de vie et mesure du bien-être, on peut considérer un cadre simple dans lequel le bien-être global a pour argument un certain nombre de biens et services marchands ou auxquels on sait imputer des valeurs monétaires, dont on notera q_i les quantités et p_i les prix, et d'un grand nombre d'autres arguments notés z_j . Les préférences ordinales sur les combinaisons (q_i, z_j) sont supposées représentables par une fonction W qu'on suppose séparable en un effet total des q_i , $U(q_i)$ et l'effet des différents z_j . Elle s'écrit $W(q, z) = W(U(q), z)$ ou bien, en remplaçant U par sa version indirecte fonction du revenu R et des prix, $W(R, p, z) = W(V(R, p), z)$.

Dans cette représentation, aussi bien W que U et V ne sont pas définies de manière univoque, il existe une infinité de versions compatibles avec les préférences ordinales. C'est le problème fondamental de la mesure cardinale du bien-être. Ce qu'on peut au mieux faire est de choisir l'une de ces représentations cardinales. Ce que fait la mesure du niveau de vie est de sélectionner celle qui croît comme l'ensemble des q_i quand ils croissent tous du même pourcentage, si elle existe. Cette homogénéité de degré un est dans la nature d'un indicateur de volume : quelle que soit la façon dont il pondère la croissance des q_i , il croît comme ces derniers lorsque tous croissent au même taux, sans que cela veuille forcément dire que le bien-être croît du même pourcentage. On respecte donc les préférences ordinales mais avec une hypothèse conventionnelle de proportionnalité aux quantités pour ce qui est de l'utilité cardinale.

En quoi le respect des préférences ordinales est-il effectivement assuré en soustrayant l'évolution de l'indice de prix de celle du revenu nominal ? Une notion utile est ici celle d'indice de prix « à utilité constante » (IUC) qualifié dans la littérature anglo-saxonne de

cost-of-living index (COLI¹) : lorsque les prix p_i augmentent, cet indice indique de combien devrait augmenter le revenu nominal de l'individu pour qu'il soit indifférent entre le nouvel état et l'état initial, après effets de substitution, c'est-à-dire après redéploiement optimal de sa consommation entre les différents types de biens. Si l'indice est de ce type, on est assuré que l'indicateur de niveau de vie respectera les préférences. En effet, si le revenu nominal a été juste égal à la hausse de l'indice, c'est qu'un redéploiement de la consommation a suffi à ce qu'on soit indifférent entre la nouvelle combinaison revenu-prix et la combinaison précédente. S'il a été supérieur, il y a donc bien eu un gain de bien-être, et inversement dans le cas contraire.

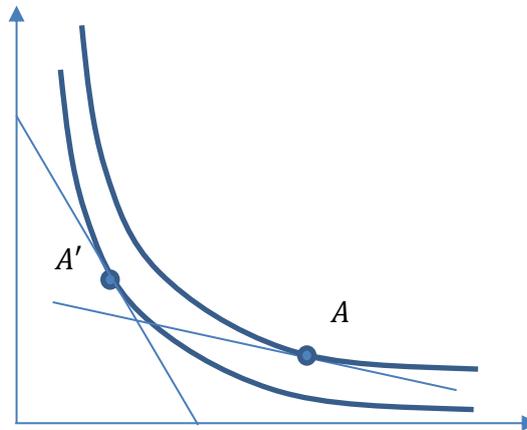
Si on raisonne à la marge, une autre façon d'arriver à cette conclusion est de noter que l'évolution du revenu réel, $dR/R - \sum_i q_i dp_i / \sum_i p_i q_i$ est égale à la variation de l'indice de volume $\sum_i p_i dq_i / \sum_i p_i q_i$ et celui-ci reflète les propriétés de la fonction U si on a affaire à de petites variations des quantités. En effet, si le consommateur optimise son panier de biens, il y a proportionnalité entre les prix et les utilités marginales, $p_i = \lambda \partial U / \partial q_i$, et $\sum_i p_i dq_i / \sum_i p_i q_i = (\lambda/R) \sum_i (\partial U / \partial q_i) dq_i = \lambda dU/R$ est bien de même signe que dU .

Ce respect des préférences ordinales est cependant moins trivial qu'il n'en a l'air : il n'est pas garanti avec des indices qui s'écartent significativement de l'indice à utilité constante. Par exemple, si on considère des variations non marginales des quantités et qu'on les pondère par le système de prix d'une année de base p^A , on peut avoir la situation du Graphique A1 où le panier de bien de la période A' est jugé représenter davantage que le panier initial de la période A (il est au-dessus de la droite de budget initiale) alors même qu'il procure une utilité moindre. Or ce cas de figure est typiquement le genre d'évolution auquel peut confronter la transition climatique, avec des baisses de consommation de certains biens dont il faudra pouvoir dire si elles sont ou non compensées par des hausses de consommation sur d'autres postes.

Les volumes à prix chaînés évitent le problème représenté sur ce graphique en appliquant des pondérations évolutives aux variations successives de quantités, quand le passage de A à A' se fait de manière progressive. Pour autant, ils ne l'évitent totalement que sous une hypothèse additionnelle sur les préférences. Pour que les préférences soient représentables par un indicateur de volume qui est forcément homogène de degré 1, il faut en effet qu'elles soient elles-mêmes homothétiques, c'est-à-dire que l'indifférence entre deux paniers q et q' implique l'indifférence entre les paniers μq et $\mu q'$ pour tout μ . Or cette hypothèse est au mieux une approximation, qui implique notamment une absence d'effet du revenu sur la structure de consommation, en contradiction avec les lois d'Engel.

¹ La notion remonte à Konus A.A. (1939), « [The problem of the true index of the cost of living](#) », *Econometrica*, vol. 7(1), p. 10-29. Pour une présentation récente des fondements théoriques de la mesure des prix, voir Sillard P. (2017), « [Indices de prix à la consommation](#) », Document de travail, Insee, n° F1706.

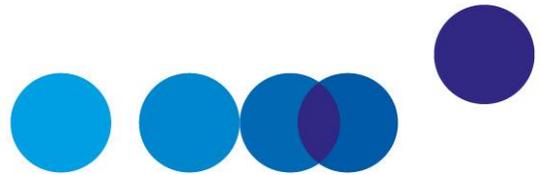
Graphique A1 – Incohérence entre indicateur de volume et préférences ordinales



Lecture : évaluée aux prix de la période A , la consommation de la période A' aura un indice de volume plus élevé, puisque situé au-dessus de la droite de budget initiale, or elle est sur une isoquante inférieure.

Source : auteurs

Si les préférences ne sont pas homothétiques, l'utilisation des volumes à prix chaînés pour comparer deux points A et A' ne donnera pas le même résultat selon le chemin emprunté pour passer de l'un à l'autre, ce qui peut à nouveau conduire à des incohérences entre mesure du niveau de vie et préférences ordinales. De manière plus générale, l'absence d'homothéticité génère des effets de perspectives auxquels il est impossible de complètement échapper. En particulier, avec des préférences non homothétiques, l'évolution d'un indice de prix à utilité constante dépend du niveau d'utilité qu'on prend pour référence. Une autre approche qu'on examinera plus loin est celle dite du revenu équivalent. Elle ordonne l'ensemble des paniers de biens de manière totalement cohérente avec les préférences ordinales, en étalonnant l'ensemble des isoquantes à l'aide d'un système de prix de référence. Mais, avec des préférences non homothétiques, l'estimation quantitative du gain à passer d'une isoquante à une autre dépendra des prix choisis pour référence.



ANNEXE 2

REVENU ÉQUIVALENT À PRÉFÉRENCES FIXES

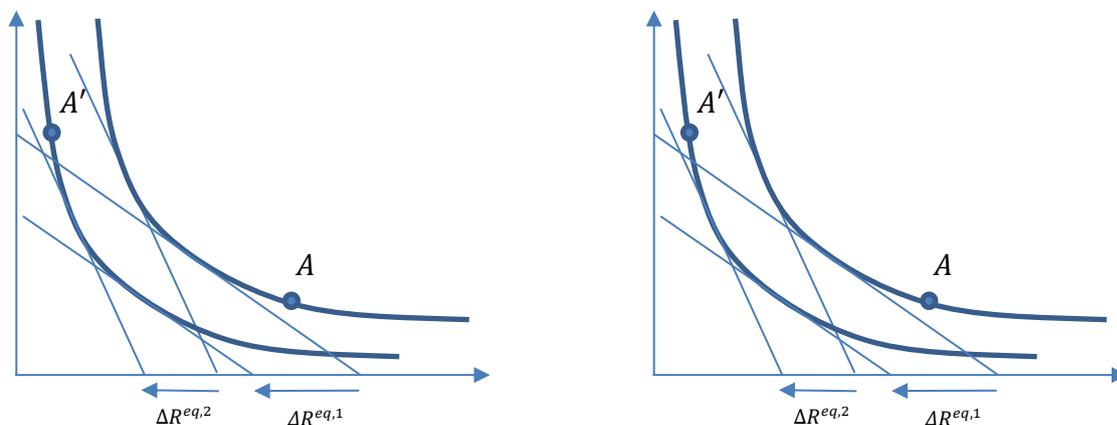
Le principe de la méthode du revenu équivalent peut d'abord être illustré dans le cas d'un bien-être ne dépendant que de la consommation de biens marchands, avec libre choix du panier de consommation à revenu et prix donnés. La méthode consiste à définir un système de prix de référence, auquel est associé un ensemble de droites de budget parallèles les unes aux autres. Chaque isoquante d'utilité peut dès lors être étalonnée par le niveau de celles de ces droites de budget qui y est tangente (Graphique A2). Pour chaque point de chaque isoquante on répond ainsi à la question suivante : de quel budget devrait disposer l'individu pour atteindre la même utilité que son utilité courante s'il faisait face à ce système de prix de référence ? Et, s'il passe d'une isoquante à l'autre, on mesure à quelle variation relative de revenu ce passage équivaldrait sous le système de prix considéré comme référence.

Dans le cas de préférences homothétiques (Graphique A2a), le résultat de ce calcul s'avère de plus indifférent au choix de ce système de prix de référence. On est dans le cas favorable où l'indice de prix à utilité constante est lui aussi indépendant du niveau d'utilité pris pour référence et où son comportement est également bien retracé par un indice de prix chaîné, sans être affecté par la trajectoire qu'emprunte ce chaînage entre point de départ et d'arrivée. Ce n'est plus le cas quand les préférences non homothétiques (Graphique A2b), le message quantitatif dépend cette fois du système de prix de référence. La raison est que la non-homothéticité génère un effet de perspective qu'aucune méthode ne peut éviter. Il est dû au fait que l'espacement entre les courbes d'indifférence n'est pas le même en fonction de l'angle selon lequel on se déplace dans l'espace des biens. C'est la raison pour laquelle, en toute rigueur, la méthode du revenu équivalent n'offre pas une valeur unique pour la comparaison de deux états mais un éventail de valeurs. En revanche, quel que soit le système de prix auquel on s'est référé, on est assuré que le résultat obtenu sera conforme au classement ordinal de ces états.

Graphique A2 – Le revenu équivalent dans le cas de deux bien marchands

a. Préférences homothétiques

b. Préférences non homothétiques



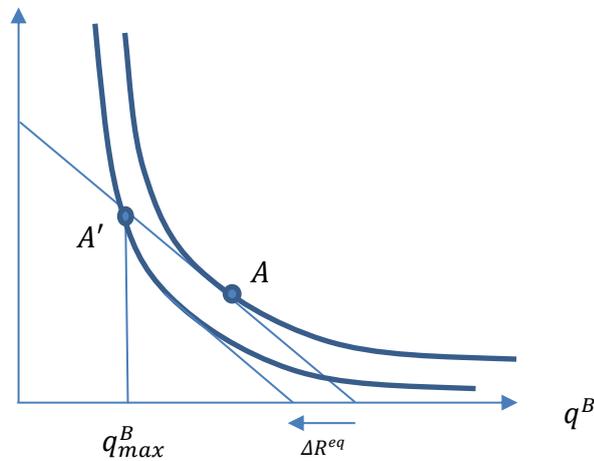
Lecture : on compare les isoquantes associées aux deux paniers A et A' en comparant les positions des droites de budgets nécessaires pour les atteindre sous un système de prix de référence. Le classement des paniers est cohérent par construction avec les préférences ordinales. De plus, la variation relative du revenu équivalent est indépendante du système de prix de référence dans le cas de préférences homothétiques. Mais il en dépend lorsque les préférences sont non homothétiques.

Source : auteurs

Sur cette base, il est facile de décliner la méthode à la fois sur le cas de la mise en place d'une contrainte réglementaire sur la consommation, et dans le cas de déterminants non monétaires de l'utilité ou du bien-être.

Dans le premier cas (Graphique A3), si la contrainte oblige l'individu à réduire sa consommation d'un bien en dessous de ce qu'il ferait spontanément compte tenu de son seul revenu et des prix, il y a certes report sur la consommation de l'autre bien, si l'individu épuise son budget, mais qui ne suffit pas à garder l'utilité inchangée, et d'autant moins que les deux biens seront peu substituables. Ce déplacement de la consommation engendre une perte d'utilité retracée par la variation de revenu équivalent. Dans ce cas où les prix ne bougent pas, la façon naturelle de mettre en œuvre la méthode serait d'utiliser ces prix fixes comme prix de référence, comme fait sur la figure.

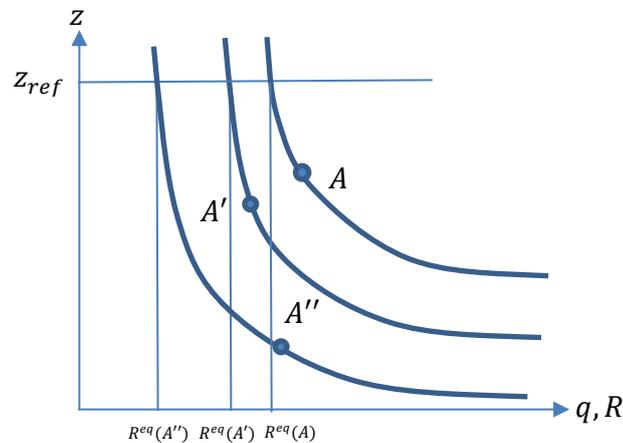
Graphique A3 – Revenu équivalent et application d’une contrainte réglementaire



Lecture : sans contrainte autre que de prix, l’individu optimise sa consommation au point A . Un plafonnement à q_{max}^B de la consommation du bien brun q^B l’oblige à se positionner en A' , avec une perte d’utilité que mesure la variation de revenu équivalent, calculé ici en prenant les prix effectifs comme prix de référence.

Source : auteurs

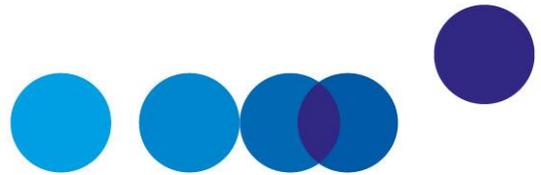
Graphique A4 – Le revenu équivalent lorsque le bien-être dépend d’un bien marchand et d’un facteur non monétaire



Lecture : l’utilité ou le bien-être dépend d’un bien marchand q pris pour numéraire (d’où l’assimilation de q et du revenu monétaire R), et d’un facteur non marchand z . On se fixe un niveau de référence z_{ref} pour le facteur non monétaire. Pour une combinaison (R, z) donnée, le revenu équivalent est celui qui procurerait la même utilité sous z_{ref} , i.e. tel que $U(R^{eq}, z_{ref}) = U(R, z)$. Sur le graphique, A domine A' sur les deux dimensions R et z et l’écart entre $R^{eq}(A)$ et $R^{eq}(A')$ intègre les deux effets. Le point A'' domine A' en termes de revenu R mais il est considéré moins favorable en termes de revenu équivalent du fait d’un très faible niveau de z , en cohérence avec les préférences ordinales.

Source : auteurs

Dans le deuxième cas (Graphique A4), la mise en œuvre de la méthode nécessite de choisir non seulement des prix de référence, mais aussi des valeurs de référence pour les déterminants non monétaires du bien-être. Pour rester à deux dimensions, le Graphique A4 considère un seul bien marchand utilisé comme numéraire, ce qui permet d'assimiler revenu R et consommation q de ce bien marchand, et évacue du même coup la question du choix de son prix de référence. Et, sur cet exemple, on prend comme référence pour l'unique facteur non monétaire une valeur maximale élevée, ce qui est le choix naturel pour un facteur tel que la santé ou l'espérance de vie. Les revenus équivalents sont ceux dont l'individu aurait besoin pour atteindre le même niveau d'utilité que son niveau courant sous l'hypothèse d'un z égal à son niveau de référence z_{ref} . Ils correspondent aux abscisses des points d'intersection des isoquantes et de l'horizontale $z = z_{ref}$. Avec cette façon d'étalonner les isoquantes, un individu mieux doté à la fois en R et en z sera toujours mieux classé. En revanche, quand R et z ne varient pas dans le même sens, le revenu équivalent sera soit croissant soit décroissant, selon que ce changement joint de R et z fait passer sur une isoquante plus élevée ou plus basse.



ANNEXE 3

REVENU ÉQUIVALENT À PRÉFÉRENCES VARIABLES

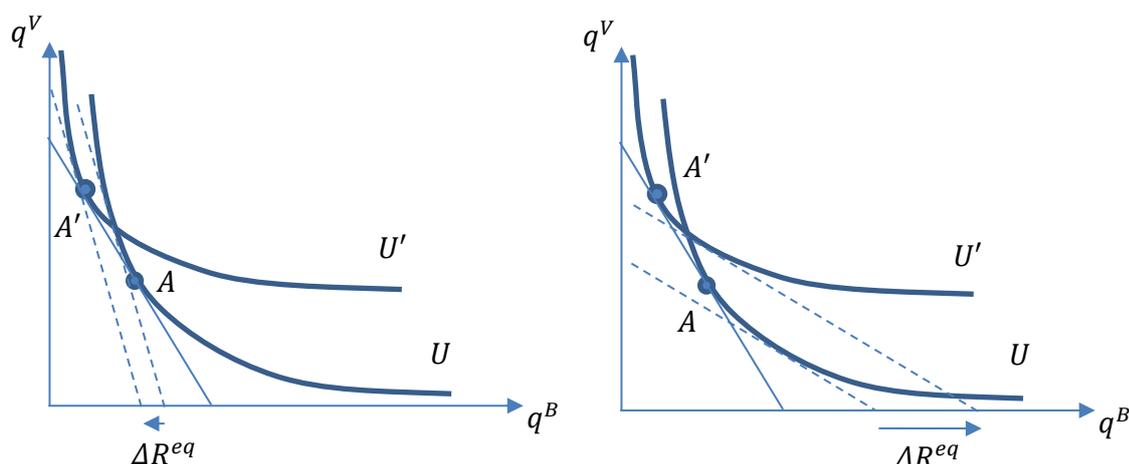
On considère un bien vert et un bien brun ainsi qu'un changement de préférences au profit du premier, en se plaçant d'abord à revenu et à prix inchangés (figure A4). Les préférences initiale et finale sont représentées par les fonctions U et U' . Ce premier exemple peut servir à illustrer à la fois l'effet d'un changement de préférences vraies et l'effet d'une internalité corrigée par un *nudge*.

Il y a internalité quand le choix de l'individu repose sur une mauvaise évaluation des utilités qu'il va retirer des deux biens. Si c'est U qui est l'utilité véritable de l'agent et U' ne représente que des préférences comportementales faussées par l'internalité, un *nudge* l'aidant à choisir selon U' va améliorer son bien-être puisque, à l'aune de U , le panier A' offre une utilité plus élevée que le panier A . Ceci suppose bien sûr un *nudge* non paternaliste, aidant l'individu à se comporter selon ses préférences vraies et non pas selon des préférences qui ne seraient pas les siennes. Si on veut comparer les deux états par la méthode du revenu équivalent, c'est à ces préférences U' qu'on se réfèrera, et A' sera classé supérieur à A pour tout système de prix de référence.

En revanche, si le passage de U à U' correspond à un changement de préférences vraies, il est impossible de dire lequel des deux états procure le plus de bien-être : A' est certes préféré à A du point de vue des préférences finales, mais A est préféré à A' du point de vue des préférences initiales. On peut néanmoins chercher à comparer les deux états par la méthode du revenu équivalent, en utilisant les préférences propres à chacun de ces deux états, mais le résultat dépendra du système de prix choisi comme référence. Si on retient les prix de la contrainte budgétaire commune aux deux états, le message sera que le niveau de vie n'a pas changé : un revenu équivalent évalué aux prix courants est toujours égal au revenu courant, qui est ici le même dans les deux cas. En revanche, les deux états seront classés différemment avec un autre choix de prix de référence (lignes en pointillé) : détérioration du bien-être dans le cas de gauche, et amélioration dans le cas de droite. Dans ce cas particulier, la stabilité du niveau de vie obtenue en utilisant le système de prix commun aux deux périodes

est un résultat qui fait sens : on dira que l'individu a juste choisi de faire un usage différent de ses ressources, sans amélioration ni détérioration de sa situation.

Graphique A5 – Effet bien-être d'un *nudge* ou d'un changement de préférences vraies, à prix et revenu donnés



Lecture : le bien brun est en abscisse et le bien vert en ordonnées. On se place à contrainte budgétaire inchangée (droite en trait fin) avec, sur les deux figures, les mêmes deux points A et A' résultant de deux systèmes de préférence U et U' . La méthode du revenu équivalent permet de comparer les états A et A' avec les préférences qui leur sont associées mais elle donnera un résultat qui dépend du choix des prix de référence : revenu équivalent inchangé si on utilise les prix communs aux deux états, revenu équivalent en baisse avec un système de prix pondérant plus fortement le bien brun, et en hausse avec un système de prix pondérant plus fortement le bien vert.

Source : auteurs

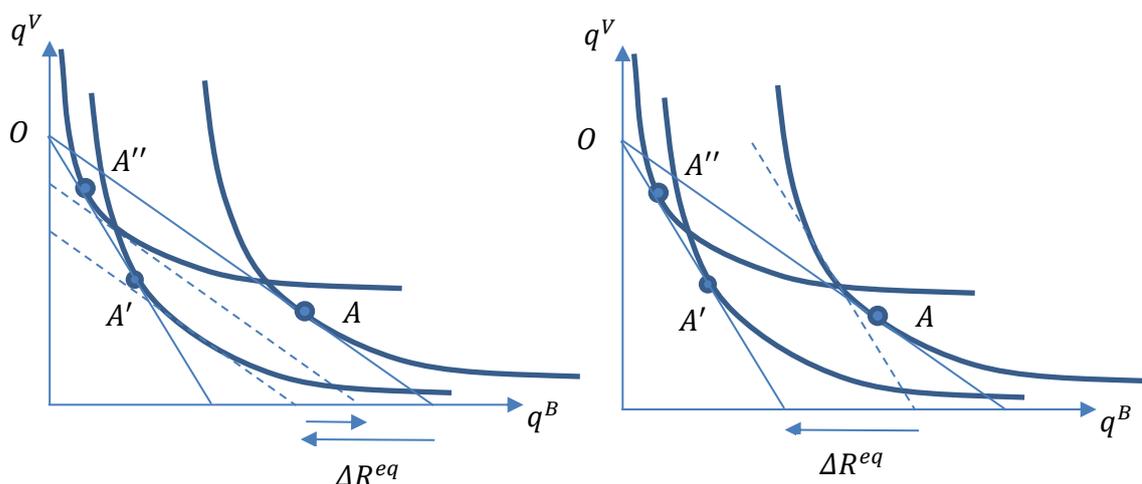
Cette solution n'est plus possible lorsque le changement de préférences accompagne un changement du système de prix, tel qu'un verdissement des préférences qui serait concomitant de la mise en place d'une taxation du bien brun. C'est la situation présentée sur le Graphique A6, où on suppose un processus en deux temps : d'abord l'introduction de la taxe faisant pivoter la contrainte de budget et passer du point A au point A' à préférences inchangées puis, une fois la taxe en place, un changement de préférence faisant glisser vers le point A'' à droite de budget inchangé.

Si ce sont les prix finaux qui sont utilisés comme prix de référence (figure A5b), on voit que la phase de transition du point A' au point A'' est neutre pour le revenu équivalent, on n'observera donc que la baisse de ce revenu équivalent entre le point A et le point A' . L'effet de compensation n'est pas pris en compte. Mais il l'est si ce sont les prix initiaux qui sont pris pour référence (Graphique A5a), avec un mouvement de va-et-vient qui reste incomplet sur la figure, mais qui serait total si le changement de préférences était tel que,

in fine, l'individu renonce totalement au bien brun. Dans un tel cas, il est logique de conclure que la taxe est finalement neutre pour lui.

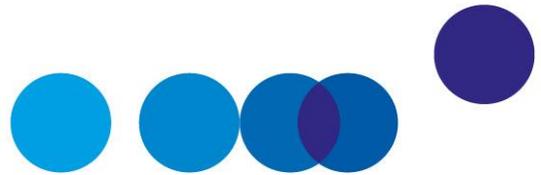
Graphique A6 – Effets de la taxation environnementale sur le revenu équivalent à préférences variables, avec prix de référence égaux aux prix initiaux ou aux prix finaux

a - Prix initiaux b - Prix finaux



Lecture : dans un premier temps, la taxation fait passer du point A au point A' à préférences inchangées, sous l'hypothèse que le revenu de la taxe n'est pas redistribué. Ensuite, une fois la taxation en place, la modification des préférences fait passer au point A'' . Sur la figure de gauche, la méthode du revenu équivalent est appliquée en prenant les prix initiaux comme prix de référence. Le revenu équivalent commence par baisser sous l'effet de la taxation (flèche vers la gauche) puis il remonte sous l'effet du changement de préférences (flèche vers la droite). À la limite, si le changement de préférences conduisait à totalement délaisser le bien brun, on arriverait au point O et le revenu équivalent retrouverait sa valeur initiale. Sur la figure de droite, ce sont les prix finaux qui sont pris pour référence. Dans ce cas, le revenu équivalent ne bouge plus entre les points A' et A'' , sa baisse initiale n'est donc pas compensée.

Source : auteurs



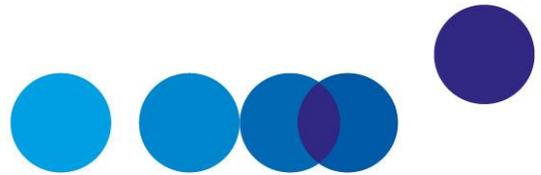
BIBLIOGRAPHIE

- Aghion P., Bergeaud A., Boppart T. et Bunel S. (2018) « [Firm dynamics and growth measurement in France](#) », *Journal of the European Economic Association*, vol. 16(4), p. 933-956.
- André M., Germain J. M. et Sicsic M. (2023), « [Approche élargie des inégalités et de la redistribution en France : enseignements du rôle des transferts et de la valorisation des services publics](#) », Document de travail, Insee, n° 2023-07.
- Balk B. M. (1989), « [Changing consumer preferences and the cost-of-living index: Theory and nonparametric expressions](#) », *Journal of Economics*, vol. 50(2), p. 157-169.
- Baqae D. R. et Burstein A. (2022), « [Welfare and output with income effects and taste shocks](#) », *The Quarterly Journal of Economics*.
- Baqae D. R. et Farhi E. (2020), « [Nonlinear production networks with an application to the COVID-19 crisis](#) », Working paper NBER? n° 27281.
- Binder M. et Blankenberg A.K. (2017), « [Green lifestyles and subjective well-being: More about self-image than actual behavior?](#) », *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 137, p. 304-323.
- Blanchet D. et Fleurbaey M. (2022), « [Valeurs, volumes et partages volume-prix : sur quelques questions \(re\)soulevées par la crise sanitaire](#) », *Économie et statistique/Economics and Statistics*, n° 532-33, p. 71-88.
- Blanchet D. et Fleurbaey M. (2020), « [Construire des indicateurs de la croissance inclusive et de sa soutenabilité : que peuvent offrir les comptes nationaux et comment les compléter ?](#) », *Économie et statistique/Economics and Statistics*, n° 517-518-519, p. 9-24.
- Blanchet D., Lin V. et Meslin O. (2022), « [Évaluer l'impact de l'immobilier sur les niveaux de vie : les principaux éléments du débat](#) », Blog de l'Insee, 7 janvier.
- Blanchet D., Khder M.-B., Leclair M., Lee R., Poncet H. et Ragache N. (2018), « [La croissance est-elle sous-estimée ?](#) », *L'Économie française - Comptes et dossiers édition 2018*, Insee, coll. « Références », p. 59-79.
- Boarini R., Murin F., Schreyer P. et Fleurbaey M. (2021), « [Well-being during the Great Recession: new evidence from a measure of multi-dimensional living standards with heterogeneous preferences](#) », *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 124(1), p. 104-138.

- Boarini R., Murtin F. et Schreyer P. (2015), « [Inclusive growth: the OECD measurement framework](#) », OECD Statistics working paper, n° 2015/06.
- Bollen J., Guay B., Jamet S. et Corfee-Morlot J. (2009), « [Co-benefits of climate change mitigation policies: literature review and new results](#) », OCDE, Economics department working papers, n° 693.
- Bourguignon F. et Landais C. (2022), « [Micro-simuler l'impact des politiques publiques sur les ménages : pourquoi, comment et lesquelles ?](#) », *Les notes du Conseil d'analyse économique*, n° 74.
- Clayton S. et Karazsia B.T. (2022), « [Development and validation of a measure of climate change anxiety](#) », *Journal of Environmental Psychology*, vol. 69, p. 1014-1034.
- Cling J.-P., Eghbal-Teherani S., Orzoni M. et Plateau C. (2019), « [Les différences entre pays de l'UE pour les indicateurs de développement durable : c'est \(surtout\) l'économie !](#) », Document de travail, Insee n° G2019/06.
- Creutzig F. et al. (2022), « [Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being](#) », *Nature Climate Change*, vol. 12 (1), p. 36-46.
- Cusset P.-Y. et Trannoy A. (2023) « [Alimentation, logement, transport : sur qui l'inflation pèse-t-elle le plus ?](#) », *La Note d'analyse*, France Stratégie, n° 119.
- Decancq K., Fleurbaey M. et Schokkaert E. (2015), « [Happiness, equivalent incomes and respect for individual preferences](#) », *Economica*, vol. 82, p. 1082-1106.
- Easterlin R.A. (1974), « [Does economic growth improve the human lot?](#) », in David P.A. et Reder M. W. (dir.), *Nations and Households in Economic Growth: Essays in Honor of Moses Abramovitz*, Academic Press
- Fleming C. M. et Ambrey C. L. (2017) *The Life Satisfaction Approach to Environmental Valuation*, Oxford, Oxford University Press.
- Fahri E. et Gabaix X. (2020), « [Optimal taxation with behavioral agents](#) », *American Economic Review*, vol. 110(1), p. 298-336.
- Fleurbaey M. et Blanchet D. (2013), *Beyond GDP. Measuring Well-Being and Assessing Sustainability*, Oxford, Oxford University Press.
- Fleurbaey M. et Gaulier G. (2009), « [International comparisons by living standards](#) », *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 111(3), p. 597-624.
- Fleurbaey M. et Tadenuma K. (2014), « [Universal social orderings: An integrated theory of policy evaluation, inter-society comparisons, and interpersonal comparisons](#) », *The Review of Economic Studies*, vol. 81, p. 1071-1101.
- France Stratégie/Insee (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Données*, rapport thématique coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger, mai.
- France Stratégie/CGDD (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Enjeux distributifs*, rapport thématique coordonné par Vincent Marcus, mai.
- France Stratégie (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Inflation*, rapport thématique coordonné par Stéphane Dees, mai.

- France Stratégie/Dares (2023), [Les incidences économiques de l'action pour le climat. Marché du travail](#), rapport thématique coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand, mai.
- France Stratégie (2023), [Les incidences économiques de l'action pour le climat. Sobriété](#), rapport thématique coordonné par Aude Pommeret, mai.
- Frey B. S., Luechinger S. et Stutzer A. (2010), « [The life satisfaction approach to environmental valuation](#) », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 2(1), p. 139-160.
- Gadrey J. et Jany-Catrice F. (2016), [Les nouveaux indicateurs de richesse](#), Paris, La Découverte.
- Germain J. M. (2020), « [Du PIB au PIB ressenti : en retrait sur le PIB, l'Europe dépasse désormais les États-Unis en bien-être monétaire](#) », *Insee Analyses*, n° 57, octobre.
- Germain J. M., André M. et Blanchet T. (2021), [Rapport du groupe d'experts sur la mesure des inégalités et de la redistribution](#), coll. « Insee Méthodes », n° 138, février.
- Houriez G. (2020), « [Santé, éducation, services administratifs : la difficile mesure des activités non marchandes en temps de crise sanitaire](#) », Blog de l'Insee, 27 novembre.
- Hulten C. R. et Nakamura L. I. (2019), « [Expanded GDP for welfare measurement in the 21st century](#) », Working Paper NBER, n° 26578.
- Insee (2022), « [Selon leurs dépenses d'énergie et d'alimentation, certaines catégories de ménages sont exposées à une inflation apparente pouvant différer de plus d'un point par rapport à la moyenne](#) », *Note de conjoncture*, juin, p. 25-27.
- Jaravel X. (2021), « [Inflation Inequality: Measurement, Causes, and Policy Implications](#) », *Annual Review of Economics*, vol. 13, p. 599-629.
- Jones C. I. et Klenow P. J. (2016), « [Beyond GDP: welfare across countries and time](#) », *American Economic Review*, vol. 106(9), p. 2426-2457.
- Kasser T. (2017), « [Living both well and sustainably: a review of the literature, with some reflections on future research, interventions and policy](#) », *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, vol. 375(2095).
- Konc T., Savin I. et van den Bergh J.C. (2021), « [The social multiplier of environmental policy: Application to carbon taxation](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 105.
- Konus A.A. (1939), « [The problem of the true index of the cost of living](#) », *Econometrica*, vol. 7(1), p. 10-29.
- Labroue S. et Bureau D. (2022), « [Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable : que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?](#) », FAERE Working Paper, n° 2022.09.
- Lamb W. et Steinberger J. K. (2017), « [Human well-being and climate change mitigation](#) », *WIREs Climate Change*, vol. 8(6), p. e485.
- Lancaster K.J. (1996), « [A new approach to consumer theory](#) », *Journal of political economy*, vol. 74(2), p. 132-157.

- Lin V. et Meslin O. (2020), « [Hausse des prix immobiliers et mesure du niveau de vie](#) », Document de travail Insee-Dese n° 2020-15.
- List J.A., Rodemeier M., Roy S. et Sun G. (2022), « [Judging nudging: toward an understanding of the welfare effects of nudges versus taxes](#) », *Framed Field Experiments*, n° 0765.
- Maddison D. et Rehdanz K. (2020), « [Cross-country variations in subjective wellbeing explained by the climate](#) », in Maddison D., Rehdanz K. et Welsch H. (dir.), *Handbook on Wellbeing, Happiness and the Environment*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, p. 105-126.
- Maddison D. et Rehdanz K. (2011), « [The impact of climate on life satisfaction](#) », *Ecological Economics*, vol. 70(12), p. 2437-2445.
- Madec P., Plane M. et Sampognaro R. (2023), « [Une analyse des mesures budgétaires et du pouvoir d'achat en France en 2022 et 2023](#) », *Policy Brief OFCE* n° 112.
- Mattauch L., Hepburn C., Spuler F. et Stern N. (2022), « [The economics of climate change with endogenous preferences](#) », *Resource and Energy Economics*.
- Mattauch L., Stern N. et Konc T. (2022), « [For climate economics, preferences can and should be treated as endogenous](#) », VoxEU.
- Ortega-Gil M., Cortés-Sierra G. et Elhichou-Ahmed C. (2021), « [The effect of environmental degradation, climate change, and the European Green Deal tools on life satisfaction](#) », *Energies*, vol. 14(18).
- Perona M. (2022) « [De l'éco-anxiété à la transition heureuse ?](#) », *Note de l'Observatoire du bien-être*, n° 2022-09, CEPREMAP, juin.
- Ravallion M. (2010), « [Mashup indices of development](#) », Policy Research Working Paper, n° 5432, World Bank, juin.
- Samuelson P. A. et Swamy S. (1974), « [Invariant economic index numbers and canonical duality: Survey and synthesis](#) », *The American Economic Review*, vol. 64(4), p. 566-593.
- Schreyer P. (2016), « GDP and welfare », in Adler M. D. et Fleurbaey M. (dir.), *The Oxford Handbook of Well-Being and Public Policy*, Oxford, Oxford University Press.
- Senik C. (2014), *L'Économie du bonheur*, Paris, Le Seuil.
- de Serres A. et Murin F. (2014), « [Your Money or Your Life: Green Growth Policies and Welfare in 2050](#) », *Environmental & Resource Economics*, vol. 63(3), p. 571-590.
- Sillard P. (2017), « [Indices de prix à la consommation](#) », Document de travail, Insee, n° F1706.
- Stanley S.K. et al. (2021), « [From anger to action: Differential impacts of eco-anxiety, eco-depression, and eco-anger on climate action and wellbeing](#) », *The Journal of Climate Change and Health*, vol. 1.
- Stiglitz J., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), *Richesse des nations et bien-être des individus*, Paris, Odile Jacob.
- Vanoli A. (2022), *Une histoire de la comptabilité nationale*, Paris, La Découverte, coll. « Repères ».



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaires de rédaction

Olivier de Broca, Gladys Caré

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

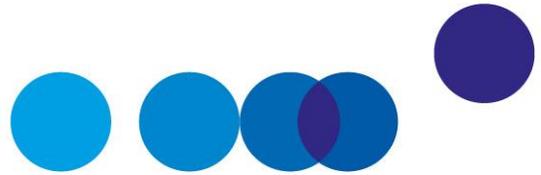
Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de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

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Indicateurs et données

Rapport thématique

Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger (coord.)



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Indicateurs et données

Rapport thématique

Coordinateurs

Nicolas Carnot (Insee)
et **Nicolas Riedinger** (France Stratégie)
Sylvain Larrieu (Insee)

MAI 2023

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

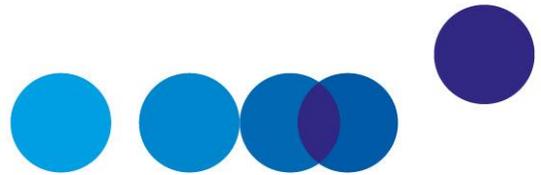
Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré aux données était placé sous la direction de Nicolas Carnot (Insee) et Nicolas Riedinger (France Stratégie), avec la collaboration de Sylvain Larrieu (Insee).

Ce travail a bénéficié des retours et de l'expertise des contributeurs suivants : Laura Berthet (Direction générale du Trésor), Didier Blanchet (PSE), Claire Fourdan (RTE), Jean-Marc Germain (Insee), Frédéric Ghersi (Cired), Hadrien Hainaut (I4CE), Logan Gourmand (Direction générale du Trésor), Paul Malliet (OFCE), Bérengère Mesqui (CGDD), Solène Métayer (I4CE), Béatrice Michalland (CGDD), Xavier Ragot (OFCE), Béatrice Sédillot (CGDD) et Mathilde Viennot (France Stratégie).



SOMMAIRE

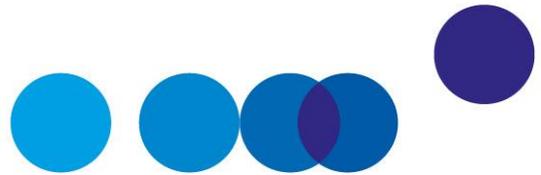
Synthèse	5
Introduction	7
Chapitre 1 – Les statistiques d’émissions de gaz à effet de serre	9
1. Les deux notions existantes : inventaires d’émissions et empreinte carbone	9
1.1. Les accords internationaux de réduction des émissions s’appuient sur les inventaires territoriaux.....	9
1.2. L’« empreinte carbone » retrace les émissions liées à la demande finale, que les biens ou services soient produits en France ou importés	11
1.3. Récapitulatif des différentes sources sur les émissions de GES	12
1.4. L’inventaire d’émissions et l’empreinte constituent des indicateurs complémentaires	13
1.5. La capacité à croiser les statistiques d’émissions avec d’autres données doit être développée et facilitée pour les utilisateurs	14
2. Questions et extensions possibles	15
2.1. Statistiques infra-annuelles et indicateurs avancés.....	15
2.2. Indicateurs régionaux et locaux	16
2.3. Comparabilité internationale des données	16
2.4. Approfondissements en cours de la méthode d’estimation de l’empreinte carbone.....	17
2.5. Distribution de l’empreinte carbone entre les ménages.....	17
Chapitre 2 – Les investissements dans la transition climatique	19
1. Le champ des investissements d’intérêt pour l’évaluation de la transition climatique ne se limite pas à ceux ayant pour objectif premier de réduire les émissions	19
2. L’observation statistique de l’investissement pourrait être affinée pour mieux éclairer la transition	21
2.1. Les nomenclatures d’activités et de produits des comptes nationaux ou des statistiques d’entreprises ne permettent d’éclairer que de manière limitée les enjeux d’investissement dans la transition	21

- 2.2. Le système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) n'accorde pas une place centrale à l'investissement lié à la transition climatique 22
- 2.3. Un cadre d'observation de l'investissement pertinent du point de vue de l'atténuation pourrait être construit en s'appuyant sur beaucoup de statistiques existantes ou en développement 24
- 2.4. Au-delà de l'observation statistique de l'investissement, l'estimation des coûts d'abattement est essentielle pour éclairer la décision 29

Chapitre 3 – Des indicateurs macroéconomiques tenant compte de la contrainte climatique ? 31

- 1. Les indicateurs macros ajustés des émissions de GES : quels fondements et quelles interprétations ? 32**
- 2. Des critiques et certaines difficultés 34**
- 3. Quelle valorisation du carbone ? 35**
- 4. *In fine*, des indicateurs parlants mais entourés d'incertitudes 37**

Bibliographie 39



SYNTHÈSE

Ce rapport décrit l'état de l'existant et les enjeux statistiques dans trois domaines : les émissions de gaz à effet de serre (GES), les investissements liés à la transition climatique et enfin la construction d'indicateurs macroéconomiques « ajustés des GES ».

Sur les statistiques d'émissions

Il existe deux grands types de mesure des émissions de GES. L'*inventaire* recense les émissions de GES qui ont lieu sur le territoire français. L'*empreinte carbone* vise à mesurer toutes les émissions de GES liées à la demande finale intérieure française, que les biens ou services soient produits en France ou importés.

L'inventaire d'émissions et l'empreinte constituent des indicateurs complémentaires. Le premier est le support des engagements nationaux actuels de réduction de GES, l'autre permet de mieux refléter l'impact de la consommation et les « fuites de carbone » associées.

Les approfondissements en cours concernant la méthode de calcul de l'empreinte sont opportuns et les échanges avec les organisations internationales dans ce domaine doivent être développés. La capacité à croiser les statistiques d'émissions et d'empreinte avec d'autres données économiques doit être développée et facilitée pour les utilisateurs.

Enfin, l'intérêt des statistiques infra-annuelles d'émissions et les méthodes statistiques employées mériteraient d'être examinés.

Sur les données d'investissement

Le champ des investissements d'intérêt pour l'évaluation macroéconomique de la transition climatique est potentiellement très large. La qualification des investissements (« verts », « bruns » ou « neutres ») est au moins en partie relative, car très dépendante des réglementations et technologies disponibles à un instant T.

L'observation statistique de l'investissement, dans l'optique d'éclairer la transition, apporte certaines informations mais pourrait encore être améliorée. Les systèmes de comptabilité

de référence (Système de comptabilité nationale – SCN – et Système de comptabilité économique et environnementale – SCEE) ne sont que partiellement adaptés. D'autres statistiques, notamment issues de comptes satellites (transport, logement), peuvent être mobilisées. À partir de l'existant et d'améliorations possibles, l'enjeu est d'observer, dans chaque secteur (avec une sectorisation pertinente, par exemple celle des inventaires), l'investissement suivant une catégorisation représentative de leurs performances en matière d'émissions de GES et de lier données physiques et données monétaires, afin d'en inférer des coûts unitaires.

Pour la rénovation des logements par exemple, il s'agit de mettre en relation l'investissement en euros et les économies d'énergie et réductions d'émissions associées, pour une typologie pertinente de gestes.

Au-delà de l'opportunité de compléter certaines des sources présentées, se pose aussi la question de la capacité à les agréger et les relier avec des modélisations macroéconomiques, qui peuvent s'appuyer sur des grilles sectorielles diverses.

Les informations statistiques fournies par le service statistique public (SSP) sont complétées par des données délivrées par d'autres organismes comme l'Ademe et l'Institut de l'économie pour le climat (I4CE). Il serait souhaitable de clarifier le statut de ces données relativement à celles produites par le SSP.

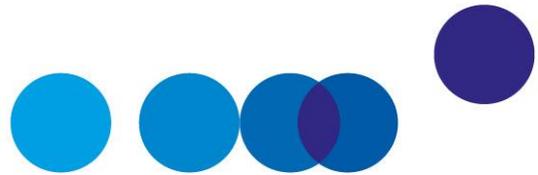
Sur les indicateurs macroéconomiques ajustés des GES

Des indicateurs macroéconomiques de synthèse tenant compte de la contrainte de soutenabilité climatique peuvent être élaborés en apportant une correction aux indicateurs usuels de la comptabilité nationale au titre des coûts entraînés par les émissions de gaz à effet de serre.

L'épargne nette ajustée (ENA) donne une indication relative à la soutenabilité tandis que le produit intérieur net ajusté (PINa) rectifie la mesure synthétique de la performance économique qu'est le PIB afin de tenir compte des limites induites par la soutenabilité climatique.

De tels indicateurs apportent une information parlante de nature à modifier le message des indicateurs usuels. Ils sont cependant de nature plus expérimentale que les « constats » usuels des comptes.

S'agissant du mode de valorisation des émissions de GES, l'approche du coût social du carbone se heurte à une très grande incertitude et à un problème de périmètre géographique car les dommages s'apprécient au niveau mondial. La valorisation par une notion de valeur d'action pour le climat (VAC), qui rend compte du coût à payer pour atteindre les objectifs de décarbonation, est plus praticable. Il serait toutefois souhaitable que de tels calculs s'appuient sur une VAC respectant la règle de Hotelling.



INTRODUCTION

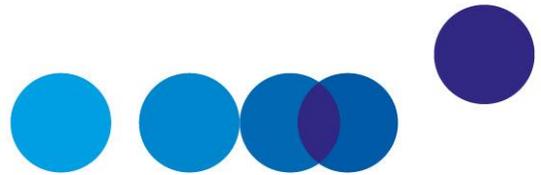
Quel est le champ des statistiques pertinentes du point de vue l'analyse macroéconomique de la transition climatique ? La Commission économique des Nations unies pour l'Europe, groupe de travail de la communauté statistique internationale, en donne la définition suivante : « Les données environnementales, sociales et économiques qui mesurent les causes humaines du changement climatique, les impacts du changement climatique sur les systèmes humains et naturels, les efforts des humains pour en éviter les conséquences ainsi que pour s'y adapter¹. »

Par rapport à cette définition large, la thématique propre de la mission (« impact macroéconomique de la transition climatique ») invite à mettre plus particulièrement l'accent sur trois sujets bien identifiés :

- les données relatives aux émissions de GES et leurs sources (par activité, etc.) ;
- les investissements, qui sont au cœur des politiques de transition ;
- la mesure de la performance économique elle-même.

En remarque, il est à noter que l'on se centre sur le « climat » et non sur l'« environnement », ce qui serait bien plus vaste. De plus, d'autres thèmes de mesure peuvent *a priori* aussi être pertinents : la taxation et le prix du carbone, l'évaluation des dommages climatiques, la mesure des politiques d'adaptation, l'évaluation des emplois créés ou détruits par la transition, etc. La question des statistiques de l'énergie, bien que très connexe et pertinente, n'est pas développée dans ce rapport.

¹ Commission économique des Nations unies pour l'Europe – UNECE (2014), « [Conference of European Statisticians Recommendations on Climate Change Related Statistics](#) » : « *Environmental, social and economic data that measure the human causes of climate change, the impacts of climate change on human and natural systems, the efforts of humans to avoid the consequences as well as their efforts to adapt to the consequences.* »



CHAPITRE 1

LES STATISTIQUES D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

1. Les deux notions existantes : inventaires d'émissions et empreinte carbone

Il existe deux grandes notions d'émissions de gaz à effet de serre (GES), qui répondent à des objectifs différents. D'une part, l'inventaire des émissions recense les émissions de GES qui ont lieu sur le territoire français et les répartit suivant diverses activités économiques. D'autre part, l'empreinte carbone vise à mesurer toutes les émissions de GES liées à la demande finale intérieure française en biens et services, y compris les émissions à l'étranger correspondant à des biens ou services importés et hors émissions liées aux biens et services exportés.

1.1. Les accords internationaux de réduction des émissions s'appuient sur les inventaires territoriaux

En France, le ministère en charge de l'environnement confie la réalisation de l'inventaire des émissions au Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa)¹. Cet inventaire² existe en différents formats, qui s'appuient sur les mêmes données sources mais présentent de légères différences de couverture :

- L'inventaire dit « CCNUCC » est destiné au rapportage dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Dans sa version « CCNUCC / Convention », il couvre la totalité du territoire français, y compris les collectivités d'outre-mer. Une version très légèrement restreinte, dite « CCNUCC / Kyoto »,

¹ Voir le rapport sur la méthodologie de calcul des émissions : Citepa (2022), [Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France](#) – OMINEA, 19^e édition, mars.

² [Présentation générale du système d'inventaire des émissions de GES](#) sur le site du ministère de l'Environnement.

se limite aux émissions sur le territoire français faisant partie de l'Union européenne. En pratique, les émissions de GES et leurs évolutions sur les deux champs géographiques sont très proches. Les estimations sont principalement détaillées par types de carburants, procédés industriels et agricoles et usages des sols suivant une approche technique, correspondant aux standards du GIEC.

- L'inventaire au format « Secten » reprend le même total d'émissions que l'inventaire CCNUCC, mais avec une répartition sectorielle différente, plus adaptée à l'analyse des politiques publiques françaises. Il présente les émissions suivant sept grands secteurs économiques et quatre-vingt-deux sous-secteurs. Les trajectoires de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) sont notamment construites sur la base de l'inventaire Secten.
- Les comptes des émissions atmosphériques, dits « Air Emissions Accounts » (AEA)¹, ont été conçus dans le cadre du « système de comptabilité économique et environnementale » (SCEE) établi au niveau de l'ONU. Ils font l'objet, à l'échelle de l'Union européenne, d'un rapportage obligatoire en application du règlement sur les comptes économiques européens de l'environnement (n°691/2011) et relèvent de la responsabilité du SDES, le Service des données et études statistiques du ministère en charge de l'environnement. Ils répartissent les émissions de GES suivant la nomenclature « NAF » standard pour les statistiques économiques, en soixante-quatre branches d'activité. Le total est légèrement différent des inventaires CCNUCC et Secten car les comptes d'émissions suivent, comme les comptes nationaux économiques, un principe de « résidence ». Les émissions des Français en voyage à l'étranger sont donc ajoutées alors que celles des étrangers en voyage en France sont retirées.

La répartition des rôles pour la réalisation de l'inventaire est formalisée dans un cadre appelé « Système national d'inventaires d'émission et de bilans dans l'atmosphère² » (SNIEBA). Le ministère en charge de l'environnement assure la maîtrise d'ouvrage et la coordination d'ensemble du système. Il délègue au Citepa la réalisation des inventaires (méthode, collecte, traitement des données, démarche qualité, etc.).

Le ministère en charge de l'environnement et d'autres ministères fournissent au Citepa toutes les informations dont ils disposent et qui peuvent être utiles à l'inventaire. Cela comprend notamment des données administratives résultant d'obligations réglementaires (en particulier les déclarations annuelles des rejets polluants des installations classées soumises à autorisation, qui portent sur plus de 10 000 installations industrielles et agricoles) ou d'enquêtes spécifiques auprès des émetteurs de GES. Les autres données collectées sont de nature diverse : statistiques professionnelles issues de syndicats ou fédérations, avis d'experts et littérature internationale.

¹ [Présentation de l'inventaire au format « Air Emissions Accounts » \(AEA\)](#) sur le site du SDES.

² [Présentation détaillée de l'organisation du système d'inventaire \(SNIEBA\)](#) sur le site du Citepa (extrait du rapport Secten).

Les méthodes d'estimation des émissions procèdent directement de leurs déterminants physiques : quantité de carburants consommés et conditions de combustion pour les usages énergétiques, description des procédés industriels et pratiques agricoles pour le reste du champ. La modélisation est réalisée au cas par cas pour les grosses installations industrielles (qui sont par ailleurs généralement soumises à des quotas et donc à des déclarations spécifiques) et repose sur des populations statistiques finement modélisées pour les secteurs qui regroupent un grand nombre de sources (chauffage domestique ou véhicules particuliers).

Un Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIE) interministériel se réunit régulièrement pour donner un avis et formuler des recommandations pour l'évolution des inventaires¹. La question d'une plus grande implication du SSP dans la production des inventaires CCNUCC et Secten pourrait en outre se poser.

1.2. L'« empreinte carbone » retrace les émissions liées à la demande finale, que les biens ou services soient produits en France ou importés

L'empreinte carbone représente la quantité de gaz à effet de serre (GES) induite par la demande finale intérieure (consommation des ménages et des administrations publiques, investissements), que les biens ou services soient produits sur le territoire national ou importés. En tenant compte du contenu en gaz à effet de serre des importations, l'empreinte carbone permet d'apprécier la pression sur le climat due à la demande intérieure française, quelle que soit l'origine géographique des produits consommés.

En pratique, l'empreinte carbone est donc estimée en partant des émissions des résidents français mesurées dans l'inventaire AEA, en retirant les émissions en France liées à la production de biens et services destinés à l'exportation et en ajoutant les émissions à l'étranger correspondant à la production des biens et services importés.

Cette estimation est réalisée par le Service des données et études statistiques du ministère chargé de l'environnement. Elle n'est actuellement pas codifiée par une méthodologie internationale. Les résultats sont disponibles suivant un détail de soixante-quatre produits². Conformément à la loi énergie-climat de 2019, la prochaine SNBC devra fixer des « plafonds indicatifs », non plus seulement d'émissions territoriales (les « budgets carbone ») mais aussi d'empreinte carbone (pour les périodes 2024-2028, 2029-2033 et 2034-2038).

¹ [Présentation des différences méthodologiques entre les divers formats d'inventaire](#) sur le site « Notre environnement ».

² [L'estimation de l'empreinte carbone de la France de 1995 à 2021.](#)

1.3. Récapitulatif des différentes sources sur les émissions de GES

Tableau 1 – Récapitulatif des différentes sources sur les émissions de GES

Source	Destinataire	Objectif	Cadre normatif	Réalisation	Couverture	Disponibilité année N
<i>Inventaires</i>						
CCNUCC	ONU	Engagements internationaux de la France	CCNUCC / méthodologie GIEC	Citepa pour le compte du MTE	Émissions sur le territoire national	Décembre N+1
Secten	MTE	Analyse des politiques publiques	/			Juin N+1 (prov) Juin N+2 (déf)
Comptes d'émissions UE AEA	UE	Analyse éco-environnementale	UE n° 691/2011		Émissions des résidents	Septembre N+2
<i>Empreinte</i>						
Empreinte carbone	/	Analyse éco-environnementale	/	SDES	Émissions liées à la demande finale	Novembre N+1 (prov) N+4 (déf)

Source : auteurs

Encadré 1 – Les comptabilités carbone privées : bilans carbone et analyses en cycle de vie¹

Les statistiques d'émissions présentées plus haut sont des agrégats calculés au niveau du pays tout entier. Elles doivent être distinguées des comptabilités carbone réalisées par des agents économiques privés, qui revêtent deux formes :

- l'« empreinte carbone d'un produit » résulte d'une analyse en cycle de vie. Réalisée par des experts, elle vise à mesurer les émissions de GES liées à toutes les étapes de la vie du produit : fabrication, transport, vente, utilisation et fin de vie (recyclage ou mise au rebut) ;

¹ Voir le rapport du Haut Conseil pour le climat (2020), *Maîtriser l'empreinte carbone de la France*, octobre, réponse à la saisine du gouvernement, qui présente les différentes notions d'empreinte macro et microéconomiques, et leurs intérêts respectifs.

- l'« empreinte carbone d'une organisation » (entreprise ou collectivité locale) vise à mesurer toutes les émissions liées à son activité, en interne, en amont et en aval. Elle est souvent présentée suivant des périmètres concentriques : scope 1, 2 et 3.

Ces comptabilités privées permettent d'une part aux organisations d'identifier et de quantifier leurs sources d'émissions de GES afin de pouvoir mettre en place des stratégies de réduction efficaces. D'autre part, si elles sont partagées, elles permettent de faire progresser l'information des consommateurs sur le contenu en carbone des différents biens et services qu'ils achètent (« score carbone »).

Ces approches sont en fort développement ces dernières années, tirées par plusieurs moteurs. La réglementation concernant le rapportage de la « responsabilité sociale et environnementale » (RSE) des organisations et des analyses en cycle de vie des produits est de plus en plus étendue. De manière concomitante, les investisseurs institutionnels montrent un fort intérêt pour ces rapportages, qui leur permettent d'évaluer la dimension RSE de leur portefeuille.

Ces analyses sont cependant encore très loin de couvrir de manière exhaustive le tissu économique français en termes de produits et d'entreprises. Par ailleurs, elles ne sont pas destinées à être agrégées : le bilan carbone « scope 3 » d'une entreprise couvre par exemple l'activité de tous ses fournisseurs. Agréger les bilans carbone au niveau de l'économie nationale aboutirait ainsi à de nombreux doubles comptes.

Le système d'information microéconomique qui pourrait alimenter une mesure globale de l'empreinte GES est encore à construire. Sur le principe, il s'agirait pour chaque entreprise de tenir une comptabilité parallèle à la comptabilité monétaire, qui recenserait de manière exhaustive le contenu « équivalent carbone » des biens et services entrants et sortants. L'essentiel de la difficulté de cette approche réside dans la phase de montée en charge, qui nécessiterait de combler les informations manquantes par des estimations tant que la comptabilité carbone n'est pas généralisée dans toutes les entreprises, et cela au niveau mondial. On peut noter en France l'initiative « carbone sur facture », qui promeut un tel système comptable sur la base du volontariat.

1.4. L'inventaire d'émissions et l'empreinte constituent des indicateurs complémentaires

Historiquement, la mesure des émissions de gaz à effet de serre s'est d'abord construite sur la base des inventaires territoriaux, car l'observation des émissions au niveau national est plus simple à mettre en place et plus précise que celle liée aux biens et services importés. Cette mesure a toutefois été critiquée car elle reflète imparfaitement l'impact de

la consommation des différents pays sur les émissions et, en particulier, elle sous-estime la contribution aux émissions mondiales des pays riches (qui importent généralement beaucoup de biens au fort contenu carbone). La notion d'empreinte est ainsi considérée par beaucoup comme un meilleur indicateur de la responsabilité des différents pays¹.

Il importe d'évaluer nos politiques publiques à l'aune non seulement de nos objectifs nationaux² mais aussi de leur impact sur les émissions mondiales, puisqu'en termes de conséquences climatiques, il est équivalent d'émettre une tonne en France ou à l'étranger. L'inventaire et l'empreinte apparaissent comme des indicateurs complémentaires à cet égard. Les instruments classiques de lutte contre les émissions (taxe carbone, marché de quotas, normes), ne discriminant pas entre les biens destinés à la consommation intérieure et ceux destinés aux exportations, sont susceptibles d'affecter directement l'ensemble des émissions territoriales. Ils ont toutefois aussi potentiellement un impact sur les émissions importées, à travers les « fuites de carbone », dans la mesure où les politiques des pays partenaires ne sont pas toutes également ambitieuses. L'empreinte carbone constituera ainsi un indicateur clé pour apprécier l'efficacité du « mécanisme d'ajustement carbone aux frontières » (MACF) de l'UE, en cours de mise en place, qui vise à lutter contre ces fuites d'émissions.

1.5. La capacité à croiser les statistiques d'émissions avec d'autres données doit être développée et facilitée pour les utilisateurs

L'analyse des interactions entre les émissions et l'économie nécessite de pouvoir mettre en regard des données d'émissions (inventaire ou empreinte) avec des statistiques économiques. Les comptes d'émissions AEA présentent l'intérêt, à cet égard, d'avoir été élaborés dans le cadre du SCEE, conçu de manière articulée avec le système de comptabilité nationale (SCN), ce qui permet une mise en regard des émissions et de l'activité de chacune des branches. L'empreinte carbone, construite notamment à partir des comptes d'émissions et des tableaux entrées-sorties des comptes nationaux, peut de manière analogue être théoriquement rapportée aux emplois finals des comptes nationaux, par type d'emploi final et par produit.

Ces liens restent toutefois peu explicites pour un utilisateur non spécialiste, les comptes d'émissions et l'empreinte, d'une part, et les comptes nationaux, d'autre part, faisant l'objet de diffusions séparées par le SDES et l'Insee respectivement. Les deux institutions

¹ Mettre l'accent sur les empreintes n'est pas la même chose qu'imputer la responsabilité aux « consommateurs » plutôt qu'aux « producteurs », ne serait-ce que parce que les décisions d'externalisation relèvent typiquement des entreprises. Voir, par exemple, Boutang J. (2021), « [Inventaires nationaux d'émission versus empreinte de consommation. Limites, enjeux](#) », Citepa, communication aux Assises du climat, 11 février. Par ailleurs, ni l'inventaire ni l'empreinte ne rendent compte de l'impact carbone des investissements à l'étranger des résidents.

² Comme cela a été précédemment indiqué, si les engagements internationaux portent uniquement sur les émissions territoriales, la loi énergie-climat de 2019 prévoit la fixation de plafonds indicatifs d'empreinte carbone dans la prochaine SNBC.

travaillent actuellement à développer un cadre harmonisé, ou tout du moins coordonné, de diffusion de ces résultats pour faciliter leur analyse.

Il est également utile, pour analyser les déterminants des émissions, de les rapprocher de certaines données physiques sectorielles. La diffusion de comptes de flux physiques d'énergie (PEFA, *physical energy flow accounts*), qui s'inscrivent dans le même cadre et doivent être établis en cohérence avec les comptes d'émissions AEA, constitue une avancée notable dans cette direction. L'analyse, plus en amont, des déterminants de la consommation d'énergie elle-même est rendue délicate par l'absence de cadre commun avec les statistiques du logement, des transports¹, etc.

2. Questions et extensions possibles

2.1. Statistiques infra-annuelles et indicateurs avancés

Depuis fin 2021, Eurostat calcule et diffuse des statistiques trimestrielles d'émissions de GES au niveau de l'UE, au format AEA². Ces données ne sont pas rapportées par les États membres mais extrapolées à l'aide de modèles économétriques, qui se fondent sur différents indicateurs avancés : valeurs ajoutées sectorielles, indices de production industrielle et commerciale, production d'électricité à partir de combustibles fossiles, données sur le transport maritime et aérien, températures (degrés-jours de chauffage).

En France, le Citepa publie depuis 2020 un baromètre mensuel des émissions de GES³, au format Secten. Il est diffusé tous les trois mois, avec trois mois de décalage. Là encore, à défaut de collecte exhaustive et assez précoce, l'estimation repose sur une modélisation qui fait appel à différents indicateurs avancés produits par le SDES ou l'Insee.

Ces deux indicateurs apportent aujourd'hui une information sensiblement différente, ce qui soulève une question relative à la fiabilité et à la cohérence des méthodes employées. Une analyse comparative plus détaillée des méthodes mériterait d'être effectuée. Au-delà, il pourrait aussi être utile de préciser ce que l'on attend de tels indicateurs infra-annuels. En effet, les variations infra-annuelles des émissions sont considérablement affectées par les fluctuations économiques et les aléas climatiques de court terme. Il n'est pas évident

¹ À titre d'illustration, on peut noter que le champ couvert par les statistiques du transport est la circulation sur le sol national alors que le bilan de l'énergie et les inventaires d'émissions CCNUCC et Secten enregistrent la consommation de carburants et les émissions correspondantes en fonction du pays d'achat des carburants (et que les comptes AEA et PEFA couvrent les circulations des résidents, ce qui constitue une troisième notion).

² La [présentation des nouvelles séries trimestrielles d'émissions de GES de l'Union européenne sur le site d'Eurostat](#) (novembre 2021).

³ Voir le [baromètre mensuel des émissions de GES françaises](#) sur le site du Citepa.

en l'état que l'on puisse en inférer des conclusions sur les évolutions sous-jacentes de l'intensité en GES des activités économiques, même si ce point serait à expertiser davantage, et si possible à améliorer. En outre, la diffusion fréquente de données sur les émissions peut aussi constituer un enjeu en matière de communication. L'une des raisons de la forte présence du PIB dans les débats de politique publique est la mise à disposition régulière de statistiques.

2.2. Indicateurs régionaux et locaux

Le Citepa réalise une spatialisation de ses inventaires nationaux d'émissions de GES, dans le but notamment d'aider les collectivités territoriales à mettre en place leur plan climat-air-énergie territorial (PCAET). Les résultats sont disponibles à un niveau de désagrégation très fin (communes et établissements publics de coopération intercommunale – EPCI)¹. L'appropriation de ces données par les acteurs locaux aux différents échelons territoriaux constitue un enjeu d'importance pour la bonne conduite des politiques locales de lutte contre le changement climatique.

2.3. Comparabilité internationale des données

Les inventaires nationaux au format CCNUCC suivent des lignes directrices méthodologiques communes établies par le GIEC, avec des développements locaux dépendant des sources de données disponibles. L'inventaire de la France réalisé par le Citepa, comme celui de tous les autres pays soumis à des engagements dans le cadre du protocole de Kyoto, est régulièrement audité par des tiers (revue internationale par les pairs et audits de la CCNUCC), pour s'assurer de la bonne mise en œuvre de ces principes. Les comptes d'émissions AEA, conçus dans le cadre statistique international de l'ONU, sont *a priori* comparables entre les États membres de l'Union européenne et avec les quelques autres pays les ayant adoptés.

Étant donné l'importance de disposer de comptes d'émissions fiables pour l'ensemble des pays du monde, d'une part pour évaluer nos performances relatives de décarbonation et d'autre part pour mesurer précisément l'empreinte carbone de la France, le système statistique public doit veiller à évaluer en continu la qualité de ces données. Il peut s'appuyer pour cela sur les collaborations existantes au niveau international (OCDE et Eurostat notamment), qui visent à renforcer la fiabilité et la disponibilité de la mesure des émissions de GES au niveau mondial.

¹ Une [présentation des inventaires spatialisés](#) sur le site du Citepa.

L'empreinte carbone n'est, à ce jour, pas utilisée comme support d'engagements internationaux¹. Sa méthode de calcul n'a pas fait l'objet d'une normalisation, et différentes approches sont possibles pour modéliser le contenu en GES des importations et des exportations.

2.4. Approfondissements en cours de la méthode d'estimation de l'empreinte carbone

L'Insee et le SDES travaillent actuellement à approfondir la méthode d'estimation de l'empreinte carbone de la France, pour profiter notamment des possibilités offertes par de nouvelles bases de données appelées « Tableaux internationaux des entrées / sorties » (TIES), qui décrivent de manière complète la production des biens et services et leurs usages au niveau mondial.

L'utilisation de ces nouvelles données, actuellement en développement dans plusieurs organisations internationales (en particulier, le projet Figaro développé par la Commission européenne), permettrait de représenter plus fidèlement la décomposition des chaînes de valeur et donc les émissions de GES entre pays producteurs des biens et services importés par la France. Un enjeu important est de concilier une meilleure prise en compte de ces chaînes de valeur internationales et le maintien de la cohérence avec les comptes nationaux.

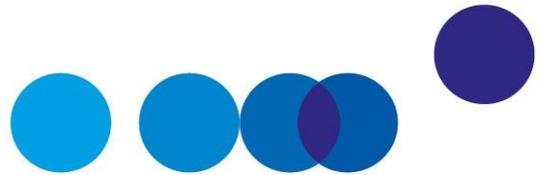
2.5. Distribution de l'empreinte carbone entre les ménages²

Mesurer la distribution de l'empreinte carbone entre les ménages est un enjeu important pour aider à calibrer les politiques d'accompagnement de la transition climatique. Des estimations diverses sont proposées aujourd'hui par des chercheurs, mais les enjeux méthodologiques restent nombreux. Pour les émissions liées à la consommation, l'hétérogénéité des biens en termes de prix et de contenu carbone peut être difficile à capter avec les données existantes. Pour les émissions liées à l'investissement, les conventions de rattachement aux ménages sont encore débattues. Le niveau de vie des ménages constitue la variable de différenciation la plus souvent privilégiée, mais d'autres sources d'hétérogénéité importantes pour les politiques publiques pourraient potentiellement aussi être étudiées (milieu urbain ou rural, type de logement, composition des ménages, etc.). L'Insee travaille actuellement à l'approfondissement de ces méthodes d'estimation afin de fiabiliser les analyses distributionnelles de l'empreinte carbone³.

¹ À noter, comme mentionné *supra* en 1.2 : la loi énergie-climat de 2019 prévoit la fixation de plafonds indicatifs d'empreinte carbone dans la prochaine SNBC.

² Voir le rapport sur l'hétérogénéité des ménages : France Stratégie/CGDD (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Enjeux distributifs*, rapport thématique coordonné par Vincent Marcus, mai.

³ Document à paraître du Département des études économiques (D2E) de l'Insee, en collaboration avec Emmanuel Combet (Ademe) et Antonin Pottier (EHESS).



CHAPITRE 2

LES INVESTISSEMENTS DANS LA TRANSITION CLIMATIQUE

1. Le champ des investissements d'intérêt pour l'évaluation de la transition climatique ne se limite pas à ceux ayant pour objectif premier de réduire les émissions

Comme la transition va reposer dans une grande mesure sur la substitution de capital aux énergies fossiles, l'investissement est amené à jouer un rôle central. Il déterminera une part importante de l'impact macroéconomique de la transition, à travers à la fois son effet keynésien, les effets de substitution et les besoins de financement qu'il implique. Pour autant, la trajectoire de diminution des émissions ne détermine pas à elle seule l'incidence de la transition sur les investissements totaux de l'économie car la sobriété est également appelée à contribuer à la transition. On peut ainsi concevoir des scénarios de transition reposant essentiellement sur la sobriété (à travers une baisse de la demande de transport, de la surface habitable, des biens matériels, etc.) et conduisant, toutes choses égales par ailleurs, à une baisse de l'investissement par rapport à aujourd'hui, tout comme, à l'inverse, des scénarios fondés principalement sur le recours à des technologies bas carbone et entraînant un surcroît d'investissement.

Cette observation implique qu'évaluer l'impact macroéconomique de la transition nécessite d'observer tous les investissements sur lesquels celle-ci a potentiellement un effet, et non seulement ceux réputés *a priori* favorables au climat. Cette dernière notion, développée en France par I4CE depuis plusieurs années, agrège un certain nombre d'investissements réputés favorables à la décarbonation et les résume en un chiffre unique. Cela présente un intérêt en matière de gain et de synthèse de l'information, ainsi qu'en termes de communication. Le « budget vert », désormais annexé annuellement au projet de loi de finances, suit une approche similaire (mais étendue à l'ensemble des

dimensions environnementales) sur le périmètre des dépenses budgétaires et fiscales de l'État (y compris les dépenses courantes)¹.

Toutefois, comme en témoignent les débats récurrents sur le budget vert, ce qui doit être considéré comme favorable ou défavorable au climat ne fait pas consensus et le caractère binaire de ces notions en constitue une limite importante. Il existe en effet toute une palette de « verts » ou de « bruns » avec une frontière difficile à tracer et l'appréciation de ces nuances tend à se déplacer au fur et à mesure du verdissement de l'économie². Ainsi, si, il y a une dizaine d'années, les véhicules hybrides pouvaient apparaître comme « verts », cette qualification est discutable aujourd'hui et le sera de plus en plus à mesure que les véhicules thermiques disparaîtront du parc. En outre, la notion d'investissement vert suppose une hypothèse (souvent implicite) sur le scénario contrefactuel, c'est-à-dire sur ce qu'il se serait passé en l'absence de l'investissement. Or, il peut être difficile dans certains cas de trancher entre des hypothèses pouvant mener à des conclusions opposées. Par exemple, la construction d'un logement neuf peut entraîner une baisse d'émissions s'il se substitue à un logement ancien plus énergivore mais peut aussi se traduire par une hausse d'émissions s'il conduit simplement à une hausse de la surface habitée.

Autrement dit, même si la qualification des investissements est utile pour informer l'analyse et l'évaluation de la transition, elle reste, d'une part, une notion au moins en partie relative ; d'autre part il importe de ne pas se limiter à un sous-ensemble trop restreint d'investissements pour apprécier les conséquences économiques de la transition. Ainsi, du point de vue de l'évaluation macroéconomique, ce qui tout à la fois importe et paraît concevable est de comparer l'évolution des investissements, entendus dans un sens assez large, entre différents scénarios. Cela requiert en premier lieu de porter attention à la structure de l'investissement et d'observer ses différentes « briques » pertinentes aujourd'hui, afin de les projeter à l'avenir.

Il est à noter que ces questions sur la mesure du « vert » et la classification, développées dans le cas de l'investissement, peuvent se poser aussi pour d'autres grandeurs économiques (emploi, production, etc.).

¹ Plus précisément, la dernière édition attachée au Projet de loi de finances pour 2023 couvre les dépenses dites « au Périmètre des dépenses de l'État (PDE) ». Ce périmètre comprend les crédits du budget général de l'État, les taxes affectées, les budgets annexes, les dépenses des comptes d'affectation spéciale, les dépenses du compte de concours financier « Audiovisuel public », le prélèvement sur recettes au profit de l'Union européenne, le prélèvement sur recettes au profit des collectivités territoriales, ainsi que certains retraitements de flux internes au budget de l'État.

² En outre, ce qui est « vert » du point de vue du climat peut ne pas l'être pour d'autres dimensions environnementales, comme la biodiversité par exemple.

2. L'observation statistique de l'investissement pourrait être affinée pour mieux éclairer la transition

2.1. Les nomenclatures d'activités et de produits des comptes nationaux ou des statistiques d'entreprises ne permettent d'éclairer que de manière limitée les enjeux d'investissement dans la transition

L'investissement dans les comptes nationaux correspond à la notion de formation brute de capital fixe (FBCF), qui se décline par produit et par secteur institutionnel (administrations publiques, ménages et branches de l'économie). L'énergie, qui est au cœur de la transition climatique, se retrouve principalement dans deux branches de la nomenclature d'activités (au niveau 64) : « cokéfaction et raffinage » et « production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné ». Ces deux branches ne couvrent toutefois pas l'ensemble des activités susceptibles d'être affectées par la transformation des modes de production d'énergie, pour plusieurs raisons :

- la production d'énergie implique, au-delà des producteurs eux-mêmes, une filière large et diffuse de fournisseurs¹ ;
- certaines technologies ou certains produits amenés à jouer un rôle dans la transition n'ont pas été initialement conçus à des fins principalement énergétiques et restent classés dans leurs secteurs d'origine² ;
- la nomenclature d'activités opère des regroupements fondés davantage sur la similarité des produits que sur celle des technologies. Ainsi, il n'est pas fait aujourd'hui de distinction, au sein de la production d'électricité, entre les centrales thermiques classiques, le nucléaire ou les sources d'électricité renouvelable.

Concernant ce dernier point, on peut accueillir favorablement la récente révision des nomenclatures d'activités au niveau international, qui isolent désormais les sources renouvelables au sein de la production d'électricité³. De plus amples modifications seraient probablement souhaitables à terme, mais on peut craindre qu'elles aient toujours un certain retard, compte tenu de l'évolution rapide des technologies. En outre, quelle que

¹ Par exemple, de nombreuses branches interviennent dans la filière nucléaire au-delà de la production d'électricité : la métallurgie (raffinage de l'uranium), la chimie (enrichissement de l'uranium), la fabrication de produits métalliques (construction de réacteurs), le traitement des déchets, etc.

² La nomenclature actuelle considère ainsi l'hydrogène comme un produit chimique de base et le biométhane comme un produit du traitement des déchets agricoles.

³ Insee (2022), « Révisions des nomenclatures d'activités ISIC – NACE – NAF », présentation à la commission « Entreprises » du CNIS, 24 mars.

soit l'évolution des nomenclatures d'activités, elles pourront difficilement permettre d'isoler les investissements destinés à l'amélioration de l'efficacité énergétique, par nature diffus dans l'ensemble des secteurs consommateurs d'énergie.

2.2. Le système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) n'accorde pas une place centrale à l'investissement lié à la transition climatique

L'importance croissante des problématiques environnementales et le constat d'une capacité limitée des comptes nationaux à les éclairer a conduit, au début des années 1990, à la conception au niveau international d'un système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) visant l'objectif très général de « comprendre les interactions entre l'environnement et l'économie ».

Une révision de la nomenclature du SCEE devrait permettre de mieux identifier la réponse liée au climat

Le « cadre central » du SCEE, qui se décline, au niveau européen, dans le règlement sur les comptes économiques européens de l'environnement, comprend notamment un « compte de dépenses de protection de l'environnement », suivant la nomenclature CEPA¹, et un « compte de dépenses de gestion des ressources naturelles », suivant la nomenclature CReMA² (en distinguant, dans les deux cas, dépenses courantes et dépenses en capital). Les investissements contribuant à l'atténuation du changement climatique relèvent principalement de deux classes, « CEPA 1 » (protection du climat et de l'air ambiant) et « CReMA 13 » (gestion des ressources énergétiques)³. Le périmètre de ces deux classes et la frontière entre elles restent toutefois sujets à interprétation dans le SCEE. Par ailleurs, le règlement sur les comptes économiques européens de l'environnement ne rend aujourd'hui obligatoire pour les États membres que le compte de dépenses de protection de l'environnement, mais pas celui de gestion des ressources naturelles⁴. L'investissement relevant de la classe CEPA 1 est estimé par le SDES à 1,2 milliard d'euros en 2019 pour la France, couvrant un champ beaucoup plus restreint que l'« investissement climat » défini et estimé par l'ACE (62 milliards d'euros en 2019).

¹ *Classification of environmental protection activities.*

² *Classification of resource management activities.*

³ Les investissements contribuant à l'adaptation ne sont, quant à eux, pas du tout couverts.

⁴ En revanche, assez étrangement, le compte des « éco-activités » (portant sur la production) requis par le règlement européen intègre bien le champ de la gestion des ressources naturelles.

La faible lisibilité de la distinction entre les nomenclatures CEPA et CReMA a conduit Eurostat à en proposer une nouvelle (dénommée « classification des fonctions environnementales ») qui les fusionnerait et s’y substituerait. Elle comprendrait notamment une division « Air, climat, énergie » issue de la fusion des classes CEPA 1 et CReMA 13. Cette nouvelle nomenclature pourrait être adoptée en tant que classification statistique internationale par la Commission de statistique des Nations unies en 2023, ce qui constituerait un progrès. Le champ de la division « Air, climat, énergie » couvrirait en particulier la production d’énergies renouvelables et la rénovation énergétique. Il resterait toutefois plus restreint que celui de l’« investissement climat » de I4CE, excluant par exemple les infrastructures de transport décarbonées ou la production nucléaire.

La notion de surcoût d’investissement se heurte à la difficulté de définition de la référence

Même si la nouvelle nomenclature est adoptée, cette modification ne résoudrait pas la principale difficulté, qui est celle, déjà mentionnée précédemment (voir la section 3.1), de la difficulté à opérer une distinction nette entre les investissements contribuant à l’atténuation du changement climatique et les autres, et de se limiter à une telle distinction.

La voie que propose le SCEE repose sur la notion de surcoût d’investissement. Plus précisément, le SCEE distingue les biens « environnementaux » (entièrement dédiés à la protection de l’environnement) et les biens « adaptés », définis comme des biens « modifiés afin de les rendre moins polluants », la règle étant de prendre en compte ces derniers à hauteur seulement de leur surcoût par rapport à des biens « normaux » rendant les mêmes services (mais plus polluants). Toutefois, distinguer les biens environnementaux et les biens adaptés peut être difficile dans certains cas¹, tout comme définir, pour chaque bien adapté, le bien « normal » de référence. Eurostat recommande en général, lorsque existe une norme réglementaire, de prendre celle-ci comme référence mais cela ne garantit ni la comparabilité temporelle, puisque les normes évoluent dans le temps, ni la comparabilité géographique, puisque les normes peuvent aussi varier entre les pays. Cela peut conduire Eurostat à préconiser de déroger à cette règle², mais, du coup, l’absence de principes véritablement généraux peut laisser perplexe sur la robustesse d’un tel concept statistique.

Une autre limite des comptes de dépenses de comptes du SCEE réside dans l’absence d’indicateurs physiques d’investissement (par exemple, nombre de véhicules électriques

¹ Eurostat considère notamment les équipements de production d’énergies renouvelables comme des biens environnementaux, ce qui ne va pas de soi.

² Comme c’est le cas pour le logement neuf. Voir Eurostat (2020), « [Guidance note – Reporting of energetic refurbishment and construction of new energy-efficient buildings in EGSS accounts](#) », décembre.

vendus ou capacité éolienne installée) correspondant à la dépense ou, de manière équivalente, de coûts unitaires. Or, la connaissance de ces derniers est essentielle pour correctement projeter des dépenses d'investissements, ce qui nécessite en général de multiplier un objectif quantitatif donné par un coût unitaire anticipé.

2.3. Un cadre d'observation de l'investissement pertinent du point de vue de l'atténuation pourrait être construit en s'appuyant sur beaucoup de statistiques existantes ou en développement

Plus que de chercher à estimer un montant d'investissement « vert » ou favorable au climat, l'enjeu du point de vue statistique est d'observer, dans chaque secteur (avec une sectorisation pertinente, par exemple celle des inventaires), l'investissement suivant une catégorisation représentative de leurs performances en matière d'émissions de GES. Il s'agit en outre de lier des données physiques (capacités installées, nombre de véhicules, utilisation, etc.) et des données monétaires portant sur les montants d'investissement. Un tel système d'observation constitue un préalable, mais ne doit pas être confondu avec un travail d'évaluation du différentiel d'investissement par rapport à un scénario de référence donné, dont le choix comporte une dimension conventionnelle et qu'il est souhaitable d'explicitier autant que possible pour chaque évaluation.

Beaucoup de statistiques actuellement diffusées par le service statistique public (SSP), et en premier lieu le service statistique du ministère chargé de l'écologie (service des données et études statistiques, SDES), contribuent à satisfaire ces besoins d'observation pour la France. La tradition française de développement de « comptes satellites » (notamment de ceux du transport et du logement, outre celui de l'environnement) ainsi que la création plus récente de l'observatoire national de la rénovation énergétique (ONRE) constituent des atouts à cet égard. Les principales statistiques pertinentes sont recensées dans le tableau 1, en distinguant données monétaires et données physiques. On décrit ci-après l'état de l'existant par grand secteur, en esquissant des pistes de développement qui restent à préciser et à expertiser plus avant.

Bâtiment (construction neuve et rénovation énergétique)

L'investissement dans le logement neuf fait l'objet d'un suivi statistique ancien et développé, que ce soit d'un point de vue physique (nombre de logements autorisés ou commencés) ou monétaire. La caractérisation des performances des logements neufs en matière de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ pourrait constituer un axe de progrès¹.

¹ Par exemple, en distinguant les classes A et B du DPE, qui sont *a priori* les deux classes dans lesquelles peuvent se retrouver les logements neufs.

En matière de rénovation énergétique, le SDES diffuse, dans le cadre de l'ONRE, des statistiques sur le nombre de logements résidentiels rénovés et de gestes effectués, ainsi que sur les économies d'énergie et la réduction des émissions de CO₂ conventionnelles correspondantes. Deux axes de développement, bien identifiés dans le programme de travail de l'ONRE, méritent une priorité forte :

- l'estimation des économies réelles d'énergie et de CO₂ par geste de rénovation et type de logement ;
- le coût des rénovations, avec la même typologie de gestes et de logements que pour les économies d'énergie et de CO₂, de sorte à en déduire des coûts par MWh ou tonne de CO₂ économisé.

Les bâtiments tertiaires sont moins bien suivis, seule la surface des locaux non résidentiels faisant l'objet d'une diffusion régulière aujourd'hui. La base de données Operat, gérée par l'Ademe dans le cadre du décret « tertiaire », devrait permettre la production de statistiques relatives à la rénovation énergétique dans le tertiaire.

Le répertoire des locaux actuellement à l'étude permettra aussi d'améliorer à terme l'observation croisée des caractéristiques physiques des locaux, des travaux qui y ont été réalisés et de leur consommation énergétique.

Infrastructures et véhicules de transport

Les comptes des transports fournissent des informations monétaires fines sur l'investissement dans les infrastructures de transport en distinguant notamment les différents modes, mais sans toutefois les relier à des données physiques (comme, par exemple, le nombre de kilomètres de voies ferrées nouvelles). Les immatriculations neuves, ventilées par type de véhicule et énergie motrice, font aussi l'objet d'un suivi fin et régulier en termes physiques (avec une comparabilité européenne), mais sans information à l'inverse sur le coût des véhicules. Les comptes nationaux fournissent une dépense des ménages en véhicules neufs, mais sans distinction suivant la motorisation.

Production et réseaux d'énergie

L'investissement dans des moyens de production d'électricité et de gaz renouvelables fait l'objet d'un suivi à la fois physique (capacité installée) et monétaire pour chaque grande technologie. On ne dispose que de statistiques physiques, mais pas monétaires, d'investissement dans l'énergie nucléaire et les autres sources d'énergie non renouvelables, et d'aucun suivi (ni physique ni monétaire) pour l'investissement dans les réseaux de transport et de distribution, ce qui constitue une lacune significative au regard de l'importance des investissements attendus. Les comptes nationaux captent ces investissements en termes monétaires, mais n'en donnent pas la décomposition ni les informations physiques.

R & D

La R&D, appelée à jouer un rôle stratégique dans la transition en réorientant le progrès technique, fait l'objet de deux dispositifs de suivi en lien avec la transition, l'un dans le cadre des comptes de l'environnement, l'autre dans le cadre des statistiques énergétiques (ce dernier offrant un détail technologique fin pour les dépenses de R&D publiques). Il apparaît souhaitable, dans un premier temps, de mettre en perspective les recoupements et les différences entre ces deux sources et, dans un second temps, de décrire plus finement l'effort de R & D des acteurs privés en faveur de la transition.

Autres (industrie, agriculture, etc.)

L'observation de l'investissement en lien avec la transition dans les secteurs autres que ceux précédemment mentionnés reste très embryonnaire. L'enquête sur les investissements de l'industrie pour protéger l'environnement interroge les établissements sur leurs investissements spécifiquement dédiés à l'environnement ainsi que sur ceux de changement de procédé, en leur demandant d'en estimer le surcoût par rapport à un équipement de référence moins respectueux de l'environnement.

Le faible montant observé jette toutefois un doute sur la fiabilité de ces données déclaratives. Aller au-delà nécessite d'établir, dans chaque secteur ou sous-secteur pertinent, une catégorisation adaptée, ce qui peut être difficile compte tenu de la grande diversité des investissements et du fait que beaucoup d'entre eux permettent des gains d'efficacité et, par là-même, des réductions d'émissions.

Au-delà de l'opportunité de compléter certaines des sources présentées, se pose aussi la question de la capacité à agréger et à les relier avec des modélisations macroéconomiques, qui peuvent s'appuyer sur des grilles sectorielles diverses.

Les informations statistiques fournies par le SSP peuvent aussi être complétées par celles délivrées par d'autres organismes extérieurs au SSP, notamment l'Ademe et I4CE (comme sur le montant des ventes de véhicules par type de motorisation, par exemple). Clarifier le statut de ces données relativement à celles de la statistique publique serait souhaitable¹ et constitue une condition préalable à la construction d'un diagnostic partagé sur l'investissement vu au prisme de l'atténuation, diagnostic qui relève de la commission de l'économie du développement durable (CEDD)².

¹ Une telle clarification pourrait s'inscrire dans la démarche de l'Autorité de la statistique publique visant à mettre en place un processus de reconnaissance de la qualification de statistiques d'intérêt général.

² Cette commission encadre notamment les quatre comptes satellites relevant du SDES (transport, logement, environnement, énergie-climat).

Tableau 2 – Principaux indicateurs d’investissement existants et utiles pour l’analyse de la transition écologique

a/ Indicateurs monétaires

Champ	Sous-champ	Dernier montant connu, en Md€	Détail disponible au niveau national	Périodicité	Service producteur	Comparabilité internationale
Bâtiment	Logement neuf	58 (2021)	Aucun	Annuelle	SDES (Comptes du logement)	Non
	Logement : gros travaux d’entretien amélioration	57 (2021)	Aucun	Annuelle	SDES (Comptes du logement)	Non
	Dont maisons individuelles : travaux sur l’enveloppe, le chauffage, l’ECS, la ventilation et la climatisation	28 (2019)	Par type de geste	Tous les trois ou quatre ans (enquête TREMI)	SDES (ONRE)	Non
Transport	Infrastructures et matériel de transport (hors véhicules particuliers des ménages)	62 (2021)	Par mode et secteur institutionnel	Annuelle	SDES (Comptes des transports)	Non
Production et réseaux d’énergie	Production et distribution d’électricité, de gaz, de vapeur et d’air conditionné	20 (2021)	Aucun	Annuelle	Insee (Comptes nationaux)	Oui (Eurostat et OCDE)
	Énergies renouvelables	11 (2020)	Par filière	Annuelle	SDES (Comptes de l’environnement)	Non
	Cokéfaction et raffinage	1 (2021)	Aucun	Annuelle	Insee (Comptes nationaux)	Oui (Eurostat et OCDE)
Industrie manufacturière	Investissements pour limiter les émissions de GES	0,4 (2020)	Investissements spécifiques/intégrés	Annuelle	Insee	Non
R&D	Dépenses de R & D pour l’environnement	3 (2020)	Par agent financeur	Annuelle	SDES (Comptes de l’environnement)	Oui (Eurostat)
	Dépenses publiques de R & D en énergie	2 (2021)	Par domaine technologique	Annuelle	SDES	Oui (AIE)

Note : les montants d’investissements ne s’additionnent pas entre eux, certains champs se recoupant (notamment les énergies renouvelables et les travaux dans le bâtiment).

Source : auteurs

b/ Indicateurs physiques

Champ	Sous-champ	Indicateur	Détail disponible au niveau national	Périodicité	Service producteur	Comparabilité internationale
Bâtiment	Logement neuf	Nombre de logements autorisés / commencés	Distinction individuel / collectif	Mensuelle	SDES	Non
	Logement-rénovation énergétique	Nombre de logements rénovés et économies d'énergie et de CO ₂ associées	Par type de geste et suivant caractéristiques des ménages	Annuelle pour les rénovations aidées ; tous les trois ou quatre ans pour l'ensemble des rénovations	SDES (ONRE)	Non
	Bâtiment non résidentiel neuf	Surfaces de locaux autorisés/ commencés	Par secteur	Mensuelle	SDES	Non
Transport	Véhicules routiers neufs	Immatriculations	Par type de véhicule et énergie motrice	Mensuelle ou annuelle suivant type de véhicule	SDES	Oui (Eurostat)
Production et réseaux d'énergie	Énergies renouvelables électriques et biométhane	Capacité installée	Par filière	Trimestrielle	SDES	Non
	Bois et pompes à chaleur	Nombre d'appareils vendus	Par type d'appareil	Annuelle	SDES	Non
	Solaire thermique	Surface installée	Aucun	Annuelle	SDES	Non

Note : l'investissement est entendu ici dans un sens plus large que la formation brute de capital fixe (FBCF) des comptes nationaux, incluant notamment les véhicules acquis par les ménages.

Source : auteurs

Le système d'observation de l'investissement contribuant à l'adaptation reste, quant à lui, entièrement à construire (ce qui nécessite en premier lieu d'en définir le champ).

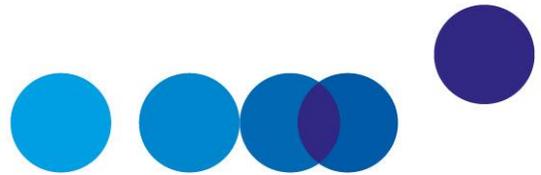
2.4. Au-delà de l'observation statistique de l'investissement, l'estimation des coûts d'abattement est essentielle pour éclairer la décision

La minimisation du coût de la transition requiert la sélection des actions et, en particulier, des investissements présentant les coûts d'abattement les moins élevés, la « valeur de l'action pour le climat¹ » délimitant en théorie la frontière entre les actions socioéconomiquement souhaitables et les actions à objectif global de décarbonation donné. Correctement estimer ces coûts d'abattement constitue donc une condition clé de succès de la planification de l'action climatique. Le coût unitaire de chaque investissement considéré constitue évidemment une donnée d'entrée essentielle pour l'évaluation de son coût d'abattement. Cette dernière requiert en outre la définition d'un scénario de référence, la modélisation des coûts et avantages de l'investissement tout au long de sa durée de vie et l'application des méthodes et valeurs tutélaires de l'évaluation socioéconomique. Telle est, en France, la démarche suivie par la commission sur les coûts d'abattement², dont le champ est progressivement à compléter et les résultats régulièrement à actualiser.

À condition que l'on parvienne à estimer les coûts d'abattement de toutes les actions de décarbonation sous des hypothèses cohérentes entre elles et à intégrer les interdépendances entre chaque levier, il pourrait être en théorie possible de les agréger afin d'en déduire un coût annuel d'abattement macroéconomique, qui serait associé à une quantité d'émissions de GES évitées l'année donnée et les suivantes.

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

² Voir le rapport de la commission sur les coûts d'abattement présidée par Patrick Criqui et pilotée par France Stratégie – dont, à ce jour, la méthodologie et les parties relatives aux transports, à l'électricité, à l'hydrogène, au logement et au ciment ont été publiées. Criqui P. (2023), « *Les coûts d'abattement en France* », *Note de synthèse*, mai.



CHAPITRE 3

DES INDICATEURS MACROÉCONOMIQUES TENANT COMPTE DE LA CONTRAINTE CLIMATIQUE ?

Cette question pose celle des limites du PIB : celui-ci répond à de nombreux usages mais il ne tient pas compte, notamment, des limites de soutenabilité induites par les émissions de GES. Cela interroge dans la mesure où la performance économique est évaluée par un indicateur qui ne semble pas intégrer cette contrainte.

Face à cette situation, une première réponse est de mettre en valeur de façon plus systématique les données relatives aux émissions et au changement climatique « en parallèle » de celles du PIB (dans une approche de type mini tableau de bord). Pour autant, on peut aussi se demander s'il est envisageable de produire, dans le cadre de la fourniture de données statistiques régulières, des indicateurs synthétiques pour « amender » le PIB ou au moins le « compléter¹ ». Il convient de noter par ailleurs que le cadre statistique standard, tel qu'il se développe au niveau international, n'apporte pas dans son évolution actuelle de réponse directe à une demande de ce type (voir Encadré 2).

Une telle démarche s'inscrit dans la logique du rapport de la Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi sur la mesure de la performance économique et du progrès social². Il s'agit cependant ici de ne traiter que d'un aspect particulier de ce thème, en lien avec l'objet de la mission, celui des indicateurs ajustés des coûts des GES. D'une manière générale, les indicateurs synthétiques visent à croiser plusieurs dimensions de façon à aller au-

¹ À noter que l'accent est mis ici sur la prise en compte de la contrainte de soutenabilité climatique. Une question distincte, celle de la liaison entre indicateurs de la comptabilité nationale et bien-être courant, et de l'évolution de cette liaison dans le contexte de la transition, est traitée dans le rapport thématique *Bien-être* : voir France Stratégie (2023), *Les incidences économiques de l'action pour le climat. Bien-être*, rapport thématique coordonné par Didier Blanchet, mai.

² Voir les préconisations du rapport de Stiglitz J. E., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, septembre.

delà de la juxtaposition d'informations qui caractérise les démarches de type « tableau de bord ». Pour porter dans le débat public, de tels indicateurs doivent comporter plusieurs caractéristiques¹, notamment apporter une information bien distincte du PIB, être clairement interprétables et diffusés de façon régulière, de même que l'est le PIB.

Encadré 2 – Le cadre statistique standard, tel qu'il se développe au niveau international, ne tient compte de la contrainte climatique que de façon indirecte

Le cadre de référence international (SCN et SCEE) porte une attention accrue aux questions de soutenabilité. Il se développe dans une perspective plus large que la seule question de la transition climatique. La principale voie suivie est la mise au point (très progressive) d'une comptabilité des ressources et actifs naturels, en termes physiques et monétaires. Le climat n'est pas directement considéré dans ce cadre comme un actif environnemental.

La prise en compte de la contrainte climatique dans ce cadre passe par la valorisation des autres ressources naturelles et des services rendus par celles-ci. En principe, les conséquences du changement climatique passent par leurs effets (généralement négatifs) sur la valorisation des actifs naturels et l'évolution des services rendus par ceux-ci. Dans cette optique, les comptes nationaux pourraient à terme mettre l'accent sur la notion de « produit intérieur net de l'épuisement des ressources naturelles », plus pertinente que le PIB. En pratique, le développement d'un tel cadre est loin d'être abouti, et il ne semble pas que cette approche permette de bien rendre compte des coûts induits par les émissions de GES.

1. Les indicateurs macros ajustés des émissions de GES : quels fondements et quelles interprétations ?

L'idée est donc ici d'élaborer des indicateurs macroéconomiques de synthèse qui tiennent compte de la contrainte de soutenabilité climatique, en apportant une correction aux indicateurs usuels de la comptabilité nationale au titre des coûts entraînés par les émissions de gaz à effet de serre. Deux notions souvent mises en avant à cet égard : celle d'une mesure de produit intérieur net qui serait une meilleure évaluation de la performance économique véritable que le produit intérieur brut (PIB) et celle d'une épargne ajustée qui

¹ Voir par exemple Terzi A. (2021), « [Economic policy-making beyond GDP: An introduction](#) », European economy Discussion Paper, n° 142, Commission européenne, juin.

offrirait une meilleure indication que l'épargne usuelle quant à la soutenabilité du modèle de développement suivi.

Une manière de donner un sens à ce type d'indicateurs est d'envisager que l'état du climat, qui est essentiellement déterminé par le cumul des émissions de GES, constitue un actif à considérer à côté de ceux figurant dans les comptes nationaux¹. L'émission de GES peut alors s'interpréter comme une diminution de cet actif (on revient ci-dessous sur la question de la valorisation à appliquer) qu'il convient de déduire des évaluations du produit intérieur net et de l'épargne nette, au même titre que le sont la dépréciation du capital productif ou l'épuisement des ressources naturelles.

La notion d'« épargne nette ajustée » (ENA) a en particulier été promue par la Banque mondiale, qui publie un tel indicateur annuellement pour quasiment tous les pays du monde. Ce concept s'inscrit dans un cadre très large, puisqu'il s'agit d'y incorporer des évaluations de l'évolution de l'ensemble des actifs environnementaux ainsi que du capital humain afin d'apprécier la soutenabilité des trajectoires de développement. Une ENA positive signifie que la génération actuelle laisse aux suivantes plus qu'elle n'a reçu, et en ce sens indique une trajectoire soutenable². Si elle a été développée avec une visée plus large, la notion est cependant applicable à la seule prise en compte de la contrainte climatique³.

Il est possible de construire de la même manière un produit intérieur net ajusté (PINA), en retranchant au produit intérieur net un terme valorisant les coûts entraînés par l'émission de GES. Le PINA représente alors la richesse créée, pendant la période de temps considérée, pour la génération présente mais aussi pour les générations futures⁴ : le PINA somme en effet le niveau de consommation présent (bénéficiant à la génération actuelle) et la variation des actifs entre le début et la fin de la période de comptabilisation (les actifs usuels plus l'actif climat correspondant à la valorisation de l'opposé du cumul des émissions de GES).

Les deux notions d'ENA et de PINA sont directement liées d'un point de vue calculatoire, puisque toutes deux sont obtenues en retranchant un même terme aux agrégats

¹ La frontière des actifs est définie aux paragraphes 7.15 et suivants du Système européen des comptes de 2008.

² Voir notamment Pearce D. W. et Atkinson G. D. (1993), « [Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability](#) », *Ecological Economics*, vol. 8, p. 103-108 ; Arrow K. J., Dasgupta P., Goulder L. H., Mumford K. J. et Oleson K. (2012), « [Sustainability and the measurement of wealth](#) », *Environment and Development Economics*, n° 17, p. 356-361 ; Hamilton K. et Hartwick J. (2014), « [Wealth and sustainability](#) », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 30, p. 170-187.

³ Comme exploré notamment par Germain J.-M. et Lellouch T. (2020), « [Coût social du réchauffement climatique et indicateurs de soutenabilité : les enseignements d'une application à la France](#) », *Économie et statistique*, n° 517-518-519, p. 85-106.

⁴ Pour une élaboration du cadre théorique sous-jacent, voir Labroue S. et Bureau D. (2022), « [Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable. Que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?](#) », Working Paper, 2022.09, French Association of Environmental and Resource Economists.

macroéconomiques usuels. L'ENA et le PINA ont cependant des interprétations bien distinctes. L'ENA donne une indication relative à la soutenabilité : il faut qu'elle soit positive pour que les générations suivantes partent avec un legs plus élevé que la génération actuelle, ce qui permet d'assurer un niveau de vie au moins aussi élevé dans le futur que dans le présent. Le PINA ne constitue pas un indicateur de soutenabilité, mais il rectifie la mesure synthétique de la performance économique qu'est le PIB afin de tenir compte des limites induites par la soutenabilité climatique, ce qui donne une meilleure image, y compris en comparaison internationale, de la création véritable de richesses¹.

2. Des critiques et certaines difficultés

Ces notions, pour attractives qu'elles soient, font toutefois l'objet de critiques et de difficultés qu'il est important de rappeler². Ainsi, l'ENA telle qu'elle a été développée par la Banque mondiale, bien que visant à une forme d'exhaustivité, se concentre sur certains enjeux plutôt que d'autres ; une telle critique s'applique *a fortiori* à une notion d'ENA corrigée de la seule dimension climatique, critique que l'on peut toutefois tempérer en retour en soulignant le caractère aujourd'hui prioritaire de cet enjeu. Il reste néanmoins que la soutenabilité environnementale a plusieurs dimensions (notamment la biodiversité), ce que l'on ignore en se limitant aux seuls coûts des GES.

Une critique plus radicale condamne par principe toute approche rendant commensurables les agrégats monétaires et les évolutions environnementales, ce qui s'accompagne du rejet de la notion de soutenabilité faible sous-jacente à l'ENA (et selon laquelle l'épuisement d'un actif peut être compensé par le progrès d'un autre), et conduit à préférer la juxtaposition d'indicateurs (le PIB pour la performance économique et des indicateurs physiques pour l'évolution des ressources naturelles) à toute démarche de construction d'indicateurs de synthèse des deux³.

Une difficulté, assez technique mais d'importance dans la discussion entre comptes nationaux ainsi que dans l'évolution des normes statistiques internationales, porte sur la délicate articulation des notions de PINA et d'ENA avec certains choix du cadre comptable.

¹ Voir Blanchet D. et Fleurbaey M. (2020), « [Construire des indicateurs de la croissance inclusive et de sa soutenabilité : que peuvent offrir les comptes nationaux et comment les compléter ?](#) », *Économie et statistique*, n° 517-518-519, p. 9-27. Labrousse et Bureau (2022) qualifient ainsi l'ENA d'« épargne véritable » et le PINA de « production véritable ».

² Voir par exemple Antonin C., Melonio T. et Timbeau X. (2012), « [L'épargne nette ré-ajustée](#) », *Revue de l'OFCE*, n° 120, p. 259-286.

³ On peut cependant observer, ici aussi en retour, que les indicateurs de soutenabilité dite « faible » peuvent déboucher en pratique sur des messages forts (ce qui renvoie aux résultats empiriques, voir *infra*). Et aussi qu'en l'absence de fourniture d'indicateurs synthétiques complémentaires au PIB, celui-ci demeure la métrique prééminente, tout en étant plus imparfaite que ne le seraient, malgré leurs incertitudes, des mesures ajustées.

Le SCN pose en effet que tout actif doit appartenir à un agent (une unité institutionnelle, dans les termes du SCN) qui tire un avantage économique de sa possession ou de son utilisation. Si le climat est un actif, qui le possède ? De même, si un calcul de PINA était bien envisagé dans la version première du SCEE (datant de 1993), il n'est plus guère présent dans sa version la plus récente, le SCEE 2012, lequel semble considérer que la question des coûts futurs induits par le changement climatique va au-delà de ce qui ressort de la comptabilité officielle¹.

La difficulté qui concentre le plus d'attention réside toutefois dans le mode de valorisation des émissions de GES. En l'absence de prix observables sur un marché (qui serait le mode de valorisation par défaut des comptes nationaux), il convient d'imputer un prix et d'explicitier l'approche sous-jacente à cette imputation. Cette question est développée *infra*.

3. Quelle valorisation du carbone ?

Il existe deux manières d'attribuer un prix aux émissions de GES : d'une part, le coût social du carbone (CSC), qui reflète le coût des dommages climatiques ; d'autre part, la valeur de l'action carbone (VAC), qui correspond au coût marginal d'abattement cohérent avec les objectifs de décarbonation. À l'optimum socioéconomique mondial, ces deux notions devraient coïncider : les coûts marginaux d'abattement nationaux sont alors égaux entre eux et égaux au coût social du carbone. En pratique, les deux options de valorisation ne sont pas équivalentes et, en outre, il existe une grande diversité d'évaluations pour chacune des deux notions. Il importe donc de préciser les choix faits, et les interprétations qu'ils impliquent.

En théorie, puisqu'il s'agit de valoriser un actif qualifiant l'état du climat, on pourrait à première vue pencher pour une notion de CSC². Le CSC est de fait le concept en principe adéquat pour apprécier l'ambition climatique souhaitable au niveau mondial. Mais cette approche pose au moins deux difficultés majeures pour la construction d'indicateurs comme l'ENA ou le PINA. D'abord, l'évaluation du coût des dommages, même si elle progresse, est particulièrement incertaine. Cela suppose en effet de modéliser les

¹ On trouve cependant dans le SCEE (chapitre « Complementary approaches to valuation » de la comptabilité des écosystèmes) la possibilité d'appliquer l'approche dite « des coûts écologiques non payés » (ou « coûts de maintenance imputés ») proposée notamment par André Vanoli : Vanoli A. (2014), « [Dégradation des actifs naturels par les activités économiques et cadre central de comptabilité nationale](#) », communication au 15^e colloque de l'Association de comptabilité nationale, octobre. Les coûts non payés, proches d'une notion de coût d'abattement, correspondent aux coûts supplémentaires qui auraient été encourus si les activités économiques avaient été modifiées ou leur impact atténué de manière à ne pas porter atteinte à l'environnement. Cette approche considère un agent Nature en sus de l'Économie, les coûts non payés étant enregistrés comme un transfert de la Nature vers les agents économiques usuels. Ce cadre permet de bien définir une ENA articulée de façon cohérente avec le reste des comptes.

² Dans l'optique où la valorisation d'un actif se fait selon la valeur actualisée des flux futurs tirés de cet actif.

interactions entre économie et climat à des horizons très longs. Une méta-analyse recense ainsi, à partir de 58 études, des estimations très diverses, allant jusqu'à 2 400 \$/tCO₂ pour une moyenne de 55 \$/tCO₂¹. On est donc très loin d'un consensus. Ensuite, il y a un problème de périmètre géographique car les dommages s'apprécient au niveau mondial. Ainsi, les émissions de GES dues à la France suscitent des dommages surtout en dehors de France, mais ces dommages extraterritoriaux n'ont pas à figurer dans un indicateur renseignant sur la soutenabilité de la croissance nationale comme l'ENA. À l'inverse, les dommages qui concernent la France sont très majoritairement dus aux émissions de GES des autres pays : ils doivent bien être pris en compte dans l'appréciation des perspectives de croissance nationale, mais pas dans des indicateurs de type PINA ou ENA qui reflètent la contribution nationale à ces performances².

La valorisation des émissions de GES par une notion de type VAC ne pose pas cette difficulté de périmètre, et est un peu moins exigeante en termes empiriques. Conceptuellement, cette approche prend son sens relativement à une trajectoire de référence pour les émissions de GES, typiquement celle fixée par les engagements pris dans les négociations internationales. La VAC mesure, à chaque période, le coût marginal d'abattement cohérent avec le respect de la trajectoire de décarbonation, en l'état des connaissances technologiques. L'ENA est alors calculée en soustrayant de l'épargne usuelle le produit des émissions de la période par la VAC. Si les investissements de décarbonation sont suffisants par rapport à l'ambition visée, l'ENA est positive (toutes choses égales par ailleurs³), l'inverse se produisant lorsque les efforts de décarbonation sont insuffisants. Cela signifie alors que davantage d'efforts (et donc moins de consommation courante) sont à réaliser par les générations futures, si l'on souhaite respecter le budget carbone que l'on s'est fixé.

La France est relativement bien positionnée pour s'appuyer sur une notion de type VAC dans la mesure où un effort important de celle-ci a déjà été conduit, le plus récemment dans le cadre de la commission de France Stratégie présidée par Alain Quinet⁴. Cette évaluation, qui a révisé nettement à la hausse les estimations antérieures, peut constituer une base semi-institutionnelle pour l'évaluation d'indicateurs ajustés. Elle n'est pour autant pas exempte de limites. La VAC découlant de ces travaux, si elle s'appuie sur des modélisations techniques, résulte aussi de considérations d'acceptabilité politique : le point de départ de la

¹ Wang P., Deng X., Zhou H. et Yu S. (2019), « [Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis](#) », *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, février, p. 1494-1507.

² Dans le cadre élaboré par Labroue S. et Bureau D. (2022), « [Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable...](#) », *op. cit.*, les émissions des autres pays sont des déterminants exogènes de la soutenabilité.

³ C'est-à-dire en supposant une incidence nulle des autres variations nettes d'actifs (capital humain, capital physique).

⁴ Voir Quinet A. (2019), *La valeur de l'action pour le climat...*, *op. cit.*

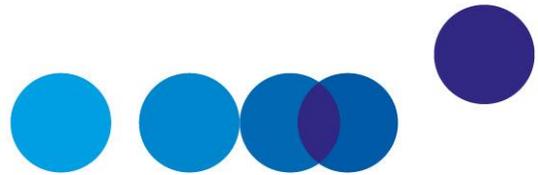
commission peut ainsi être considéré comme trop faible, la commission assumant elle-même de ne pas s'écarter du niveau initial de VAC fixé par la précédente évaluation, tandis que la croissance de la VAC est très rapide les années suivantes¹. Ce point est d'importance car l'ENA ne s'interprète comme indicateur de soutenabilité qu'à condition que la règle de Hotelling soit respectée². Empiriquement, il peut en résulter des valeurs très différentes pour les calculs d'ENA et de PINA. Cela suggère qu'il serait souhaitable que de tels calculs s'appuient sur une VAC respectant la règle de Hotelling, et qu'ils pourraient s'accompagner de tests de sensibilité aux choix de la VAC.

4. *In fine*, des indicateurs parlants mais entourés d'incertitudes

Au total, les indicateurs ajustés offrent l'intérêt de fournir de façon assez simple une mesure de la performance économique ajustée (le produit intérieur net ajusté, PINA) et un indicateur de soutenabilité prenant en compte les coûts liés aux émissions de GES (épargne nette ajustée, ENA). De plus, le fait que les évaluations du prix du carbone ont été revues à la hausse ces dernières années conduit à ce que les ajustements apportés aux variables macroéconomiques soient plus significatifs. Il apparaît toutefois aussi clairement que ce sont des indicateurs de nature plus expérimentale que les « constats » usuels des comptes, et qu'ils requièrent un élément de modélisation, en particulier pour la valorisation des émissions. Dans cet esprit, un effort complémentaire de recherche opérationnelle pour mieux asseoir les fondements théoriques et empiriques de ces notions pourrait être opportun, de façon à leur donner toute leur portée.

¹ La règle de Hotelling est fréquemment rappelée dans ce contexte : celle-ci établit que le prix d'une ressource non renouvelable (à laquelle un budget carbone est assimilable) doit croître au rythme du taux d'actualisation. Le prix Quinet croît beaucoup plus vite que ne l'impliquerait la règle de Hotelling.

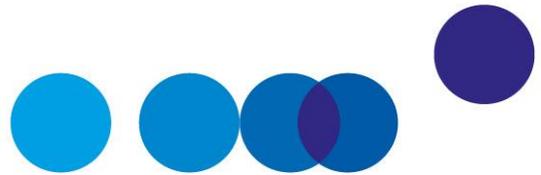
² Ce résultat est connu sous le nom de la règle de Hartwick. Voir Hartwick J. M. (1977), « Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources », *The American Economic Review*, vol. 67(5), décembre, p. 972-974.



BIBLIOGRAPHIE

- Antonin C., Melonio T. et Timbeau X. (2012), « [L'épargne nette ré-ajustée](#) », *Revue de l'OFCE*, n° 120, p. 259-286.
- Arrow K. J., Dasgupta P., Goulder L. H., Mumford K. J. et Oleson K. (2012), « [Sustainability and the measurement of wealth](#) », *Environment and Development Economics*, n° 17, p. 356-361.
- Blanchet D. et Fleurbaey M. (2020), « [Construire des indicateurs de la croissance inclusive et de sa soutenabilité : que peuvent offrir les comptes nationaux et comment les compléter ?](#) », *Économie et statistique*, n° 517-518-519, p. 9-27.
- Boutang J. (2021), « [Inventaires nationaux d'émission versus empreinte de consommation. Limites, enjeux](#) », Citepa, communication aux Assises du climat, 11 février.
- Citepa (2022), [Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France](#) – OMINEA, 19^e édition, mars.
- France Stratégie (2023), [Les incidences économiques de l'action pour le climat. Bien-être](#), rapport thématique coordonné par Didier Blanchet, mai.
- France Stratégie/CGDD (2023), [Les incidences économiques de l'action pour le climat. Enjeux distributifs](#), rapport thématique coordonné par Vincent Marcus, mai.
- Germain J.-M. et Lellouch T. (2020), « [Coût social du réchauffement climatique et indicateurs de soutenabilité : les enseignements d'une application à la France](#) », *Économie et statistique*, n° 517-518-519, p. 85-106.
- Hamilton K. et Hartwick J. (2014), « [Wealth and sustainability](#) », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 30, p. 170-187.
- Hartwick J. M. (1977), « [Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources](#) », *The American Economic Review*, vol. 67(5), décembre, p. 972-974.
- Haut Conseil pour le climat (2020), [Maîtriser l'empreinte carbone de la France](#), rapport, octobre.

- Insee (2022), « [Révisions des nomenclatures d'activités ISIC – NACE – NAF](#) », présentation à la commission « Entreprises » du CNIS, 24 mars.
- Labroue S. et Bureau D. (2022), « [Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable. Que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?](#) », Working Paper, 2022.09, French Association of Environmental and Resource Economists.
- Pearce D. W. et Atkinson G. D. (1993), « [Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability](#) », *Ecological Economics*, n° 8, p. 103-108.
- Quinet A. (2019), [La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques](#), France Stratégie, février.
- Stiglitz J. E., Sen A. et Fitoussi J.-P. (2009), [Rapport de la Commission sur la mesure des performances et du progrès social](#), septembre.
- Terzi A. (2021), « [Economic policy-making beyond GDP: An introduction](#) », European economy Discussion Paper, n° 142, Commission européenne, juin.
- Vanoli A. (2014), « [Dégradation des actifs naturels par les activités économiques et cadre central de comptabilité nationale](#) », communication au 15^e colloque de l'Association de comptabilité nationale.
- Wang P., Deng X., Zhou H. et Yu S. (2019), « [Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis](#) », *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, février, p. 1494-1507.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaires de rédaction

Valérie Senné, Olivier de Broca, Gladys Caré

Contact presse

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

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



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



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



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



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

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

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