

ENJEUX SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT



L'Observatoire français des conjonctures économiques est un organisme indépendant de prévision, de recherche et d'évaluation des politiques publiques. Créé par une convention passée entre l'État et la Fondation nationale des sciences politiques approuvée par le décret n° 81.175 du 11 février 1981, l'OFCE regroupe plus de 40 chercheurs (es) français et étrangers. « Mettre au service du débat public en économie les fruits de la rigueur scientifique et de l'indépendance universitaire », telle est la mission que l'OFCE remplit en conduisant des travaux théoriques et empiriques, en participant aux réseaux scientifiques internationaux, en assurant une présence régulière dans les médias et en coopérant étroitement avec les pouvoirs publics français et européens. Philippe Weil a présidé l'OFCE de 2011 à 2013, à la suite de Jean-Paul Fitoussi, qui a succédé en 1989 au fondateur de l'OFCE, Jean-Marcel Jeanneney. Depuis 2014, Xavier Ragot préside l'OFCE. Il est assisté d'un conseil scientifique qui délibère sur l'orientation de ses travaux et l'utilisation des moyens.

Président

Xavier Ragot.

Direction

Jérôme Creel, Estelle Frisquet, Sarah Guillou, Éric Heyer, Xavier Timbeau.

Comité de rédaction

Guillaume Allègre, Luc Arrondel, Cécile Bastidon, Frédérique Bec, Christophe Blot, Carole Bonnet, Julia Cagé, Virginie Coudert, Brigitte Dormont, Sarah Guillou, Meriem Hamdi-Cherif, Florence Legros, Éloi Laurent, Mauro Napoletano, Hélène Périvier, Maxime Parodi, Mathieu Plane, Corinne Prost, Romain Rancière, Raul Sampognaro, Michaël Sicsic et Grégory Verdugo.

Publication

Xavier Ragot, *directeur de la publication*

Vincent Touzé, *rédacteur en chef*

Laurence Duboys Fresney, *secrétaire de rédaction*

Najette Moummi, *responsable de production*

Contact

OFCE, 10, place de Catalogne 75014 Paris

Tel. : +33(0)1 44 18 54 19

web : www.ofce.sciences-po.fr

Sommaire

ENJEUX SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

sous la direction de Meriem Hamdi-Cherif et Vincent Touzé

Introduction

Enjeux socio-économiques de l'action pour le climat 5
Meriem Hamdi-Cherif (dir), Vincent Touzé (dir), Frédéric Reynès,
Paul Malliet et Gissela Landa

I. LES FINANCES PUBLIQUES

UN OUTIL AU SERVICE DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Rendre acceptable la nécessaire taxation du carbone 15
Quelles pistes pour la France ?

Mireille Chiroleu-Assouline

La fiscalité sur l'énergie peut-elle devenir acceptable ? 55
Jonas Anne-Braun et Tristan Guesdon

Jointly tackling the climate crisis and social issues 87
Integrating social considerations into Climate Budget Tagging exercises
Solène Metayer, Sébastien Postic, and Louise Kessler

**Quelques pistes pour concilier des objectifs sociaux,
économiques et écologiques** 121
Laure Baratgin et Emmanuel Combet

II. PLANIFICATION ET ORGANISATION DE L'ACTION

L'économie d'un accord-mondial sur le climat dans le monde ... 149
« tel qu'il est »
Jean-Charles Hourcade

Planification écologique et changement structurel 175
Perspectives pour la France
Etienne Espagne et Guilherme Magacho

**Optimalité, équité et prix du carbone à propos de Harold Hotelling
et de sa règle en économie du climat** 203
Marion Gaspard et Antoine Missemer

**Les certificats de sobriété numérique comme instrument
de régulation de la pollution numérique** 229
Jean-Philippe Nicolaï et Lise Peragin

.../...

III. LE BESOIN D'ÉVALUER L'ACTION

L'évaluation au service de l'action pour le climat	253
Alain Quinet	
Changement climatique	275
<i>Passer des coûts de l'inaction aux besoins pour l'action</i>	
Vivian Dépoues	
Investir dans des infrastructures bas-carbone en France	297
<i>Quels impacts macro-économiques</i>	
Alexandre Tourbah, Frédéric Reynès, Meriem Hamdi-Cherif, Jinxue Hu, Gissela Landa et Paul Malliet	
TETE, un outil en libre accès pour estimer les emplois générés par la transition écologique	329
<i>Présentation et application au scénario négaWatt 2022</i>	
Philippe Quirion	

Les propos des auteurs et les opinions qu'ils expriment n'engagent qu'eux-mêmes
et non les institutions auxquelles ils appartiennent.

Introduction

ENJEUX SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Meriem Hamdi-Cherif (dir)*, Vincent Touzé (dir)*, Frédéric Reynès,
Paul Malliet et Gissela Landa**

OFCE, Sciences Po

L'action relative au changement climatique et son caractère urgent constituent un défi contemporain considérable dans un contexte économique, politique et social qui ne lui est pas naturellement favorable.

Du rapport Meadows en 1972 au dernier rapport du GIEC publié en février 2022, du protocole de Kyoto en 1997 à l'accord de Paris en 2015, un long chemin a été parcouru. Que ce soit en termes de prise de conscience ou bien de mise en place de politiques, au niveau mondial ou régional, au niveau global ou au niveau sectoriel, de nombreuses actions, politiques et propositions ont été et devront être mises en œuvre, et le rôle de la recherche dans ce processus d'agenda des solutions est loin d'être négligeable.

Les problématiques énergie-climat sont plus que jamais à l'ordre du jour. La guerre en Ukraine et les incidences de celle-ci sur les prix de l'énergie révèlent notre dépendance aux énergies fossiles mais également aux contraintes d'approvisionnement (gazoduc, contrats d'exploitation à

* La couverture de ce numéro 176 de la *Revue de l'OFCE* reproduit une œuvre picturale réalisée par Sandia Bah et intitulée « Je me réveille ». Cette peinture montre un visage humain formé à partir de glaise. On peut y voir une représentation de la relation symbiotique entre l'Humanité et la Terre. À l'heure de l'anthropocène, il est utile de rappeler que notre avenir dépend des conditions d'habitabilité de notre planète et que ces dernières sont également déterminées par nos comportements. Nous adressons nos remerciements à l'artiste pour avoir très aimablement autorisé l'utilisation de son travail.

** OFCE ; NEO – Netherlands Economic Observatory ; TNO – Netherlands Organization for Applied Scientific Research

long terme des groupes pétrolier, coût de transport, etc.). L'accumulation actuelle de CO₂ dans l'atmosphère, la généralisation planétaire des modes de vie consuméristes ou encore la croissance démographique rendent l'action particulièrement urgente, ce qui oblige à agir dès à présent.

Il y a un consensus scientifique, entériné par une prise de conscience politique internationale, sur le fait qu'atteindre la neutralité carbone dans les trois prochaines décennies est une nécessité impérieuse pour limiter le changement climatique. Pour autant, et malgré l'ambition de cet objectif, des politiques d'adaptation et le renforcement de la résilience devront être mis en œuvre pour faire face aux effets du dérèglement climatique d'ores et déjà perceptibles. La question de l'action climatique, qui se décline aussi bien dans des mesures d'atténuation que d'adaptation, revêt des aspects multidimensionnels. Ceci invite à l'étudier sous des angles nombreux et transversaux tels que la compréhension de l'incidence des émissions de CO₂ sur le changement climatique, la sensibilité des écosystèmes, les potentiels technologiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, le degré de bifurcation des modes de vie et des modes de consommation, que ce soit en termes d'habitat, de mobilité, d'alimentation ou de production industrielle, le rôle des politiques publiques dans la régulation écologique, l'arbitrage entre valeurs éthiques et acceptabilité sociale de la nécessaire transition, etc.

Dans ce contexte, la question de la trajectoire technico-socio-économique qu'il faut entreprendre pour atteindre cette neutralité carbone à l'horizon 2050, celle des moyens que l'on se donne pour y parvenir et à quel coût, sont autant de questions fondamentales auxquelles le monde de la décision doit faire face. Des solutions sont à l'étude : restreindre, voire interdire certains modes de production, instaurer une fiscalité environnementale ambitieuse, attribuer des droits limités à polluer avec des marchés pour les échanger, innover pour faciliter un changement de modes de vie en faveur d'une plus grande sobriété écologique, etc.

Ainsi, les difficultés soulevées par l'atténuation et l'adaptation sont à la fois techniques, économiques et sociales. Mais le défi s'exprime également en termes de mise en œuvre de politiques publiques qui visent à modifier dans leurs fondements les comportements les plus profonds tout en demandant le partage le plus équitable de la charge qu'elles imposent. Le renforcement de l'action demande donc d'identifier les synergies et les arbitrages entre objectifs écologiques, économiques et sociaux, les conditions et modalités requises pour réconcilier ces divers enjeux ainsi que les évolutions organisationnelles et institutionnelles nécessaires pour réaliser les choix collectifs et lever les obstacles à l'action. Le succès de l'action

collective va donc dépendre autant d'une bonne compréhension des outils de régulation que de leurs impacts environnementaux et sociaux¹.

Ce numéro spécial de la *Revue de l'OFCE* propose une **contribution au débat public sur l'articulation entre politiques de la transition écologique² d'une part et enjeux socio-économiques de l'autre**. La communauté scientifique alerte sur le fait que la fenêtre d'action se referme et oblige à induire des changements profonds. On peut donc souhaiter que ces politiques soient au cœur des débats et que cette publication contribue à les nourrir. Le sujet est dense et transversal et ce numéro n'a pas la prétention d'en faire une analyse exhaustive³ mais plutôt d'apporter un éclairage au débat sur la situation française.

Pour traiter ce sujet, la *Revue de l'OFCE* a constitué un comité scientifique qui réunit Emmanuel Combet (ADEME), Charlotte Halpern (Sciences Po), Meriem Hamdi-Cherif (OFCE), Fanny Henriet (PSE), Gissela Landa (OFCE), Julien Lefèvre (CIRED), Benoît Leguet (I4CE), Paul Malliet (OFCE), Stéphanie Monjon (Université Paris Dauphine), Antonin Pottier (EHESS), Frédéric Reynès (OFCE), Julie Rozenberg (Banque Mondiale), Xavier Timbeau (OFCE) et Henri Waisman (IDDR). À la suite d'un appel à contributions lancé en septembre 2021, puis d'un processus standard d'évaluation académique, douze articles ont été sélectionnés.

Cette problématique des enjeux socio-économiques de l'action pour le climat est ici traitée en trois volets : le premier volet s'intéresse aux finances publiques comme outil au service de l'action pour le climat, le second est relatif aux enjeux d'organisation et de planification de cette action et le troisième traite la question de l'évaluation et de son incidence économique.

Les finances publiques : un outil au service de l'action pour le climat

La régulation publique en faveur d'une action pour le climat peut s'appuyer sur des leviers réglementaires mais également budgétaires engageant alors les finances publiques tant pour soutenir (par exemple, en subventionnant) que pour décourager (par exemple, en taxant) certaines actions, ce qui n'est pas sans soulever un problème d'acceptabilité par la population.

1. À titre d'exemple, l'échec de la hausse de la taxe carbone est la conséquence de vouloir mettre en œuvre une mesure sans considérer la cohérence globale et l'acceptabilité des politiques de lutte contre le changement climatique.

2. Qui se déclinent aussi bien dans des mesures d'atténuation que d'adaptation.

3. Plus particulièrement, la question essentielle des inégalités n'est ici que partiellement abordée. Pour une étude plus approfondie, voir le numéro 165 de la *Revue de l'OFCE*, publié en janvier 2020, intitulé *Écologie et inégalités*, sous la direction d'Éloï Laurent.

Dans un premier article, Mireille Chiroleu-Assouline revient sur les nombreux obstacles politiques à la fiscalité écologique. Elle développe un argumentaire susceptible de nourrir une plus grande adhésion sociétale en organisant « une dissémination vers le public des preuves [...] rassemblées » sur « l'efficacité des mécanismes actionnés par la taxe carbone ». Puis à l'aune de la littérature et de retours d'expériences nationales, elle explique que de nombreuses mesures d'accompagnement sont possibles et qu'elles permettraient de contrecarrer les effets négatifs : la transition nécessite une restructuration de la sphère productive qui peut se heurter à des difficultés de réemploi de la main-d'œuvre et à un maintien des niveaux de vie, ce qui peut engendrer un besoin accru de justice sociale. Dans un second article, Jonas Anne-Braun et Tristan Guesdon prolongent le raisonnement et concluent que « l'une des principales conditions d'acceptabilité réside toutefois non dans la fiscalité elle-même, mais dans l'émergence de solutions énergétiques alternatives et accessibles qui appelle davantage que le recours au seul outil fiscal ».

Du point de vue des finances publiques, Solène Metayer, Sébastien Postic et Louise Kessler constatent que les interactions entre changement climatique et les sujets sociaux sont multiples, mais qu'ils sont souvent traités séparément dans les processus d'élaboration des politiques publiques, en particulier lors de la rédaction des lois de finance. Ils présentent une grille d'analyse qui permet de faciliter l'identification des sujets climatiques et sociaux dans un budget national. S'appuyant sur les exercices d'étiquetage du budget climatique, cet outil vise à aider les gouvernements à revoir facilement l'ensemble de leur budget pour faire ressortir les mesures budgétaires qui ont à la fois des impacts climatiques et sociaux. Ils appliquent la grille d'analyse au projet de loi de finances française pour 2021, ce qui permet de souligner que 83 % des dépenses budgétaires liées au climat ont également des impacts sociaux.

Un dernier article complète les précédents. Laure Baratgin et Emmanuel Combet s'appuient sur la littérature et dégagent trois enjeux prioritaires pour concilier les objectifs écologiques, économiques, sociaux et politiques. Ils conseillent, à l'instar de Solène Metayer, Sébastien Postic et Louise Kessler, (i) de traiter globalement les implications budgétaires et d'engager en parallèle (ii) une négociation pour accompagner les ménages et les entreprises les plus vulnérables à court terme ainsi que (iii) des discussions collectives afin de faciliter l'implication du plus grand nombre. La prise en compte de ces enjeux favoriserait l'émergence d'un contrat social de transition écologique.

Planification et organisation de l'action

Si l'action environnementale peut légitimement s'appuyer sur les finances publiques, elle s'inscrit également sur un horizon long avec différents niveaux d'implication tant aux niveaux infranationaux, nationaux qu'internationaux, ce qui nécessite de planifier et de mettre en place une organisation qui facilite la coordination des actions dès lors que certaines sont décentralisées.

Avant d'aborder cette thématique au niveau français, un premier article la met en perspective au niveau mondial. Jean-Charles Hourcade revient ainsi sur l'objectif « bien en-dessous de 2°C » (COP 28 et Accord de Paris) à l'échelle planétaire. La réalisation de cet objectif de développement durable, partagé de façon égale au niveau mondial, dépend de la capacité à financer des 'actions volontaires' nationales pour corriger la faiblesse des investissements en infrastructure. L'article de Jean-Charles Hourcade montre que l'essor de ces investissements passe par leur « dérisquage » et le développement d'une classe d'actifs dits « bas-carbone ». Cela permettrait de réorienter l'épargne mondiale vers les pays en voie de développement puisque deux-tiers des investissements bas carbone doivent être réalisés dans ces derniers. Jean-Charles Hourcade discute également des contraintes liées au poids de la dette dans ces pays. Il suggère de mettre en place des outils assurant des facilités de paiement et de soutenir une relance post-Covid. Il défend le concept de « cercle de confiance pour la transition écologique » que permettrait un système multilatéral de garanties publiques accordées par les pays développés pour des investissements bas carbone dans les pays du 'Sud'.

La planification écologique prend particulièrement sens dans le domaine de l'adaptation du tissu industriel. Etienne Espagne et Guilherme Magacho analysent la situation française et examinent comment ce secteur particulièrement carboné est exposé en termes d'emplois, de recettes fiscales et de recettes des exportations. Ils discutent des potentielles opportunités technologiques qui permettraient de produire des biens « verts » et donc d'accompagner la transition écologique. Leur étude montre que la France est peu dépendante des secteurs fossiles, ce qui doit faciliter l'adaptation de l'industrie à la transition avec relativement peu de chocs socio-économiques. Toutefois, ils concluent que cette adaptation nécessite la mise en place d'une planification écologique basée sur trois piliers : une meilleure coordination des acteurs, un soutien financier public spécifique et des innovations territorialisées.

La planification écologique repose sur une aptitude à se projeter et à calculer différents coûts et bénéfices intertemporels induits par les actions présentes afin de dégager une trajectoire optimale. Harold Hotelling est un

pionner en ce domaine de l'économie mathématique appelé « contrôle optimal ». En 1931, il a énoncé une règle théorique portant son nom qui permet de décrire la trajectoire optimale de long terme du prix d'un actif épuisable. Depuis, cette règle d'Hotelling a été largement utilisée en économie de l'environnement. Marion Gaspard et Antoine Missemer reviennent sur l'histoire de l'élaboration de cette règle à partir de matériaux d'archives inédits. Ils discutent du statut contemporain de cette règle et reviennent sur l'opinion d'Hotelling vis-à-vis de cet instrument de planification, notamment sur sa non-neutralité pour traiter de questions de justice sociale intergénérationnelle.

Dans une économie de marché où la réalisation de l'optimum environnemental est décentralisée, la quête de la sobriété énergétique nécessite de coordonner les comportements individuels. Pour certains produits dont l'usage est très émetteur de carbone (transport, chauffage), les émissions ont pu être réduites grâce à l'attribution de certificats d'économie d'énergie. Cet outil de régulation pourrait être généralisé. Jean-Philippe Nicolaï et Lise Perugin proposent de l'appliquer à la pollution numérique. Leur article suggère que la mise en place d'une certification de sobriété numérique pourrait constituer un puissant outil de changements de pratique des acteurs du secteur.

Le besoin d'évaluer l'action

Tout mode de décision publique ou privée nécessite une évaluation de l'impact économique, environnemental et social de l'action qu'elle soit *ex ante* pour lancer l'action ou *ex post* pour vérifier le bienfondé de l'action engagée. Alain Quinet ouvre cette dernière partie du numéro thématique avec un article qui pose de façon globale ce sujet comme élément clé d'élaboration des politiques publiques. Il souligne que la baisse du taux d'actualisation des bénéfices induits par les politiques environnementales a permis d'accorder un poids plus élevé aux horizons longs et de justifier une valeur du carbone plus élevée. Il revient également sur le fait que les impacts redistributifs sont mieux appréhendés. Il souligne l'importance de la qualité de l'évaluation pour prendre les bonnes décisions : hiérarchie et temporalité des actions. L'évaluation nourrit les arbitrages stratégiques et doit ainsi permettre de les réaliser avec les moindres coûts économiques et sociaux.

L'article de Vivian Dépoues revient sur l'importance du chiffrage pour déclencher l'action. En effet, agir pour le climat suppose que le coût de l'action est plus faible que celui de l'inaction. L'auteur explique que « qualifier et quantifier » est une étape nécessaire pour concevoir des politiques

d'adaptation ambitieuses et efficaces. Au regard de la littérature, il constate qu'un consensus sur les bénéfices anticipés n'est pas suffisant pour déclencher l'action. Il observe plusieurs barrières à lever : elles se révèlent à différentes étapes du cycle de vie des projets, elles dépendent des niveaux d'actions et elles sont de différentes natures (économiques, financières, cognitives, comportementales et/ou institutionnelles). Elles résultent notamment de l'incertitude, des incompatibilités d'horizon temporel, d'asymétries d'information, de difficultés à internaliser (et de leur répartition entre agents) les coûts et les bénéfices, de l'accès au financement. L'auteur poursuit sur les analyses de type coûts-bénéfices et propose de dépasser des obstacles méthodologiques à l'évaluation des coûts de l'adaptation, principalement, les horizons de temps et les choix des scénarios de changement climatique considérés. L'article conclut que le déclenchement de l'action va dépendre de gouvernances appropriées et de la capacité à mobiliser l'ingénierie nécessaire.

Si investir dans des infrastructures bas-carbone semble encouragé par la littérature, il reste encore à savoir quel pourrait en être l'impact macro-économique ? Alexandre Tourbah *et al.*⁴ fournissent une évaluation des montants d'investissement additionnels en infrastructures nécessaires en France pour atteindre les objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone et de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie. Deux scénarios sont examinés : « Pro-techno » et « Sobriété ». Leur étude évalue l'impact macro-économique et sectoriel d'une telle politique d'investissement. Elle montre que pour la décennie 2021-2030, une telle politique publique pourrait conduire à une hausse significative du PIB (de 1 à 1,2 %) et également du nombre d'emplois (entre 300 000 et 400 000 emplois supplémentaires) dans les deux scénarios. Les principaux secteurs bénéficiaires seraient ceux des travaux publics et des services. En revanche, après 2030, le scénario Sobriété affiche des résultats moins marqués en raison d'investissements plus réduits dans les secteurs routiers, ferroviaires, et d'aménagement de sites. Les résultats de cet exercice d'évaluation sont sensibles aux hypothèses complémentaires associées à ces deux scénarios, et plus particulièrement celle sur la baisse des importations d'énergie.

Si l'évaluation de l'impact de la transition écologique nécessite d'explorer plusieurs dimensions, celle de la restructuration du marché du travail est particulièrement importante puisqu'elle pose la question de l'évolution sectorielle des emplois disponibles. Philippe Quirion présente le modèle TETE, un outil en libre accès pour estimer les emplois générés par la

4. Alexandre Tourbah, Frédéric Reynes, Meriem Hamdi-Cherif, Jinxue Hu, Gissela Landa et Paul Malliet.

transition écologique. Ce modèle est basé sur un tableau entrées-sorties. Il permet alors d'évaluer les emplois directs et indirects en fonction de l'évolution de la demande finale. L'auteur montre un exemple d'application avec ce modèle en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt 2022. Le modèle TETE permet alors de quantifier le nombre d'emplois dans les énergies renouvelables et la rénovation thermique des bâtiments.

LES FINANCES PUBLIQUES Un outil au service de l'action pour le climat

Rendre acceptable la nécessaire taxation du carbone	15
<i>Quelles pistes pour la France ?</i>	
Mireille Chiroleu-Assouline	
La fiscalité sur l'énergie peut-elle devenir acceptable ?	55
Jonas Anne-Braun et Tristan Guesdon	
Jointly tackling the climate crisis and social issues	87
<i>Integrating social considerations into Climate Budget Tagging exercises</i>	
Solène Metayer, Sébastien Postic, and Louise Kessler	
Quelques pistes pour concilier des objectifs sociaux, économiques et écologiques	121
Laure Baratgin et Emmanuel Combet	

RENDRE ACCEPTABLE LA NÉCESSAIRE TAXATION DU CARBONE QUELLES PISTES POUR LA FRANCE ?¹

Mireille Chiroleu-Assouline

Paris School of Economics, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Reprendre en France la trajectoire de la taxe carbone suppose de surmonter les nombreux obstacles à son acceptation par la population. Cet article recense d'abord les arguments propres à convaincre le public de l'efficacité de la tarification du carbone pour réduire les émissions. Puis, sur la base de la littérature et à la lumière d'expériences internationales, il expose des propositions de mesures d'accompagnement propres à combattre les effets potentiellement défavorables sur l'emploi, à traiter les questions d'équité, à répondre au besoin de justice sociale et à permettre de restaurer la confiance politique indispensable à l'acceptation de politiques climatiques efficaces.

Mots clés : politique climatique, taxe carbone, contribution climat-énergie, acceptabilité, inégalités.

Le mouvement des Gilets jaunes a-t-il mis un coup d'arrêt définitif à la montée en puissance de la fiscalité carbone en France ?

L'échec était en fait annoncé dès l'apparition en 2014 de la composante climat-énergie (CCE) dans la Taxe intérieure sur la consommation de produits énergétiques (TICPE) qui affecte les énergies fossiles, calculée en fonction du contenu en carbone de chacune d'elles, et

1. Ce travail a bénéficié d'un financement de l'Agence Nationale pour la Recherche au titre du programme d'Investissement d'avenir portant la référence ANR-17-EURE-0001. L'auteure remercie deux rapporteurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions fort utiles. Les opinions exprimées dans l'article n'engagent qu'elle-même.

donc des émissions de CO₂ engendrées par leur combustion². Son niveau initial était très faible (7,5€/tonne de CO₂) et lors de la première année, elle était en outre intégralement compensée par une baisse de la composante traditionnelle de la TICPE. Tout avait apparemment été mis en place pour éviter les protestations. Tout, sauf les explications nécessaires à la sensibilisation du public aux adaptations indispensables. Ce prix de la tonne de CO₂ était amené à croître régulièrement jusqu'à 22€ en 2016, cette trajectoire ayant ensuite été rehaussée par des lois de 2015 puis 2017, à 44,6€ en 2018 pour atteindre 55€ en 2019 et 86,2€ en 2022, en conformité avec la stratégie bas-carbone de la France. Pendant plus de 3 ans, le prix du pétrole resta suffisamment bas sur les marchés internationaux pour rendre totalement indolore et surtout invisible la hausse progressive de la CCE. Fin 2018, la hausse du taux de la CCE pour 2019, déjà votée un an auparavant, revint brutalement au premier plan à l'occasion du débat sur le projet de Loi de finances 2019, au moment même où le prix du baril remontait très significativement. Cette conjonction d'évènements donna naissance au mouvement de protestation contre la hausse prévue, face auquel le gouvernement recula, gelant le niveau de la CCE à son niveau de 2018.

La mobilisation des Gilets jaunes ayant déjà fait l'objet d'analyses spécifiques (dont Jetten *et al.* 2021 ; Mehleb *et al.*, 2021 ; Douenne et Fabre, 2022), l'objet de cet article est de mobiliser les travaux existants et les expériences internationales pour éclairer plus largement les raisons du rejet de la fiscalité carbone et ainsi de fournir des pistes d'amélioration de son acceptabilité en France³.

La France n'est en fait pas le seul pays à avoir expérimenté un refus aussi net de la taxe carbone. Les mesures de fiscalité carbone font l'objet d'un large rejet dans certains des pays qui ont pris des engagements significatifs lors des Accords de Paris, renouvelés ou approfondis lors de la COP26 à Galway en 2021. La politique climatique de la Suisse a par exemple connu un parcours mouvementé : après le rejet de trois propositions de taxes sur l'énergie en 2000, une taxe carbone sur les combustibles de chauffage a été instaurée en 2008 puis rehaussée à plusieurs reprises, comme le prévoyait la loi dès lors que les objectifs de

2. C'est en 2014 aussi que Ségolène Royal, ministre de l'Écologie nouvellement nommée, déclarait à la fois ne pas vouloir de hausse du prix de l'énergie et refuser l'énergie punitive et revenait donc sur l'écotaxe poids-lourds qui avait suscité le mouvement de protestation des Bonnets rouges, précurseur de celui des Gilets jaunes.

3. L'acceptabilité est ici entendue au sens minimal de non-opposition, dans une gradation qui irait jusqu'à l'adhésion et au soutien populaire (Simard, 2021).

réduction des émissions n'étaient pas satisfaits, pour atteindre finalement le taux maximal prévu de 120 francs suisses par tonne de CO₂ en 2022. Mais le 8 mars 2015, la population suisse a de nouveau rejeté une initiative populaire visant à remplacer la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) par une taxe sur l'énergie, à 92 % des 2,2 millions de votants. Elle a rejeté également, le 13 juin 2021, une révision de la loi de 2008 destinée à réduire d'ici 2030 les émissions de CO₂ de 50 % par rapport à 1990 et contribuer ainsi à limiter le réchauffement climatique à 1,5°C, qui prévoyait la possibilité de rehausser la trajectoire du taux de taxe jusqu'à 210 francs suisses en 2030 en cas de dépassement des objectifs.

De même, en 2016 puis en 2018, des propositions de taxe carbone ont été rejetées par les électeurs de l'État de Washington.

Pourtant, certains pays ont introduit avec davantage de succès une telle taxe sur les énergies fossiles, les premiers depuis maintenant une trentaine d'années : la Finlande en 1990, la Suède et la Norvège en 1991, puis le Danemark en 1992, les Pays-Bas, le Royaume-Uni. Après un débat vigoureux, l'Allemagne a introduit à compter de janvier 2021, une taxe carbone au taux de 25€/tonne, amené à augmenter jusqu'à 55 ou 65€/tonne en 2026. Par ailleurs au Canada, après l'instauration en 2008 d'une taxe carbone dans la province de Colombie-Britannique, une tarification fédérale du carbone a été mise en place en 2019, à un taux progressif au cours du temps, de 20 dollars canadiens la tonne à 170 dollars canadiens la tonne en 2030. Cette politique volontariste a rencontré initialement une forte opposition politique, en particulier de certaines provinces productrices d'énergies fossiles (Alberta, Ontario et Saskatchewan), mais depuis son instauration, la taxe semble finalement bien acceptée des électeurs (les recettes de la taxe sont remboursées aux contribuables sous la forme d'un crédit d'impôt afin de compenser l'augmentation du coût de la vie).

Au total, seulement 5,5 % des émissions mondiales de GES sont concernées en 2022 par une taxation du carbone⁴, alors que 16 % sont couvertes par ces autres instruments de tarification du carbone que sont les marchés de quotas d'émission négociables, comme le SCEQE en Europe (World Bank, 2021).

Ceci recouvre une très grande hétérogénéité puisque les prix explicites du carbone recensés au 1er octobre 2021 varient entre moins de 1 USD\$ (environ 1 euro) et 142 USD\$ (environ 117€) par tonne de

4. https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data (consulté le 25/02/2022)

CO2eq (I4CE, 2021). Plus de 46 % des émissions régulées par une tarification du carbone sont couvertes par un prix inférieur à 10 USD\$ (8€) alors que le consensus scientifique international estime que, pour être pleinement efficace, ce prix devrait se situer entre 50 et 100 USD\$ par tonne de CO₂ en 2030 (Stern-Stiglitz, 2017), et même qu'il faudrait que ce prix soit au moins égal à 160 USD\$/tonne en 2030 pour espérer rester en-dessous du plafond des 1.5°C (World Bank, 2021).

S'il n'y a plus guère de débat sur la nécessité de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre (GES), du moins dans la plupart des pays avancés, il demeure extrêmement difficile de créer un consensus politique sur les moyens à mettre en œuvre.

Alors que la taxe carbone est généralement considérée comme l'instrument le plus efficace pour réduire les émissions à moindre coût global (Nordhaus, 1994 ; Weitzman, 2014 ; Stiglitz, 2019 ; Stavins, 2020)⁵, un courant de plus en plus important de littérature démontre qu'elle est le moins populaire des instruments de politique climatique envisageables tandis que les politiques réglementaires et volontaires semblent bénéficier d'un soutien relativement élevé (Drews et van den Bergh, 2016 ; Rhodes *et al.*, 2017 ; Klenert *et al.*, 2018 ; Maestre-Andrés *et al.* 2019 ; Umit et Schaffer, 2020). L'histoire étant certes émaillée de révoltes fiscales (Delalande, 2014), y a-t-il des explications spécifiques à cette aversion pour les taxes environnementales ? De nombreux facteurs entrent en jeu, comme la méconnaissance du fonctionnement des taxes environnementales pigouvianes, la visibilité des coûts engendrés confrontée à la distance avec les bénéfices envisageables ou encore la difficulté à appréhender la logique des mesures de redistribution des recettes fiscales ainsi engrangées. A ces raisons se surimposent notamment le souci de justice fiscale et la méfiance du public envers le personnel politique. Enfin, Kallbekken *et al.* (2011) montrent même que parler de taxe réduit de façon significative le soutien à la mesure qui est mieux acceptée lorsqu'elle est présentée comme une redevance (*fee*).

En se fondant sur la littérature existante, surtout en économie de l'environnement (théorique et empirique) et en économie comporte-

5. L'incertitude ou l'imperfection de l'information sur les coûts marginaux de réduction des émissions peut inverser la hiérarchie en termes d'efficacité entre la taxe et les marchés de quotas d'émissions négociables, comme l'a montré Weitzman (1974). Certes, les réductions d'émission obtenues par la mise en place d'une taxe carbone sont dans ce cas incertaines, mais les études théoriques autant qu'empiriques montrent que les taxes sur le carbone sont plus performantes que les permis négociables (Weitzman, 2017).

mentale, mais aussi en psychologie et en sciences politiques, le présent article vise à présenter les principaux obstacles à surmonter et à émettre des propositions pour parvenir à remettre sur les rails la fiscalité carbone, au niveau nécessaire à la réduction massive des émissions de notre économie. Ce sera l'occasion de répéter des avertissements déjà formulés dans Chiroleu-Assouline (2015). Un premier temps sera consacré aux moyens de convaincre le public de l'efficacité de la tarification du carbone pour réduire les émissions. L'argument de la perte de compétitivité et des effets défavorables sur l'emploi sera analysé dans la deuxième section pour déboucher sur des propositions de mesures d'accompagnement. La troisième section sera centrée sur les questions d'équité posées par la taxe carbone, questions épineuses au centre de la contestation des Gilets jaunes, et pour lesquelles des mesures de compensation peuvent être envisagées. Ces deux derniers obstacles pourraient être abordés simultanément par une réforme fiscale d'ensemble, ce qui sera considéré dans la quatrième partie. Mais ces propositions se heurtent souvent encore aux conceptions hétérogènes de la justice fiscale de nos concitoyens. Des moyens de combattre le sentiment d'injustice fiscale seront présentés dans la cinquième section. La section suivante s'intéressera à la difficulté de restaurer la confiance politique indispensable, après des années de fluctuations, à l'acceptation de politiques climatiques efficaces. Enfin, nous présenterons, en guise de conclusion, des pistes pour permettre en France la reprise de la trajectoire ambitieuse de la taxe carbone en emportant l'adhésion populaire sans céder au populisme.

1. Convaincre de l'efficacité de la tarification du carbone

Aux yeux des économistes de l'environnement, la fiscalité sur les énergies fossiles, d'inspiration pigouvienne est l'instrument de politique climatique de référence, préférable aux autres instruments économiques comme les subventions, ou réglementaires telles les interdictions (Nordhaus, 1994 ; Goulder et Parry, 2008 ; Metcalf, 2009 ; Weitzman, 2014 ; Stern et Stiglitz, 2017 ; van den Bergh et Bozen, 2020 ; Metcalf, 2021). Les raisons en sont nombreuses et motivées par la théorie économique.

Tout d'abord taxer les produits énergétiques en fonction de leur contenu en carbone revient à éléver le prix des énergies fossiles par rapport aux énergies renouvelables ou au moins décarbonées. Cet écart de prix fournit une incitation à réduire la demande des produits

carbonés qui agit à la fois sur les consommateurs et sur les entreprises, selon les deux canaux complémentaires que sont la recherche de sobriété énergétique d'une part et la substitution d'énergies décarbonées aux énergies fossiles d'autre part.

Le deuxième avantage de la taxe, comme des autres instruments économiques tels que les marchés de permis d'émission (tel l'EU-ETS) ou les subventions aux actions de réduction des émissions, est qu'elle permet de traiter de façon équivalente des émetteurs hétérogènes. Quels que soient le niveau et la pente de la fonction de coût de réduction des émissions de chacun, leur comportement optimal est de réduire leurs émissions de GES tant que c'est profitable. Il en résulte que tous ne consentent pas les mêmes efforts de réduction en tonnes de CO₂, mais qu'ils opèrent tous au même coût marginal d'abattement, égal au taux de taxe. Ceci assure que les réductions d'émissions ainsi obtenues le sont à moindre coût global.

Troisième avantage : par comparaison avec le prix résultant des échanges sur un marché de quotas d'émission, une taxe carbone fournit un signal-prix stable, clair et certain, en niveau ou en trajectoire si le gouvernement s'est engagé de façon pluriannuelle, permettant à tous les acteurs de fonder leurs anticipations et de prendre leurs décisions d'investissement rationnellement.

Une quatrième raison joue en faveur de la taxe, cette fois en comparaison de la réglementation. Le signal-prix constitue une incitation persistante à l'innovation et à l'adoption de nouvelles technologies moins émettrices : c'est parce que la taxe est payée sur la totalité des émissions qu'il est toujours profitable pour un émetteur de continuer à chercher à réduire sa base taxable. Cette propriété d'efficacité dynamique est renforcée par la stabilité, ou du moins la prévisibilité, du signal.

De plus, selon un mécanisme similaire, la taxation des émissions est un moyen efficace de limiter les effets rebonds dans le cas de la substitution d'un produit carboné par un produit plus faiblement carboné (et non totalement décarboné).

Sans compter que la mise en place d'un prix du carbone est a priori en ligne avec le principe pollueur-paye, puisque seuls ceux qui sont responsables des émissions, directement ou indirectement, en paient le prix.

Enfin la tarification du carbone répond à la constatation que, lors de leurs achats, les consommateurs sont plus sensibles aux prix qu'à leur conscience environnementale (Baranzini *et al.*, 2017).

Ces raisons sont loin d'être claires pour le public et le manque de perception des avantages des taxes sur le carbone est identifié comme l'un des principaux obstacles à leur acceptabilité (Baranzini et Carattini, 2017 ; Douenne et Fabre, 2020). L'efficacité réelle de la fiscalité carbone pour réduire les émissions a ainsi souvent été mise en doute dans le débat public, comme le montrent les études empiriques ou expérimentales visant à mesurer l'acceptabilité de ce type de mesure. Les individus interrogés se montrent souvent sceptiques quant au changement potentiel de comportements que les taxes sur l'énergie pourraient engendrer (Kallbekken et Aasen, 2010 ; Carattini, 2017 ; Umit et Schaffer, 2020). Les raisons données vont de l'absence de substituts décarbonés ou de leur inaccessibilité en raison de leur coût prohibitif, à la faible élasticité-prix de la demande en énergie des ménages, et surtout pour ceux aux revenus les plus faibles, plus fortement contraints dans leur possibilité de changer de véhicule ou de chaudière. La taxe carbone ne servirait ainsi à rien parce que l'énergie est un bien essentiel.

Plus fondamentalement, la méconnaissance du fonctionnement des taxes pigouviennes semble être un élément majeur (Klenert *et al.*, 2018). Kallbekken et Aasen (2010) montraient ainsi sur la base d'entretiens et de groupes de discussion que les participants s'attendaient à ce que les gens « paient pour polluer » même si les gouvernements introduisent ou augmentent les taxes. Selon Maestre-Andrés *et al.* (2019), les personnes ayant une meilleure connaissance préalable des mécanismes mis en œuvre par la taxe ont tendance à l'accepter davantage, mais pour autant sous-estiment son efficacité. Au contraire, les personnes qui rejettent la taxe carbone pensent qu'elles la comprennent relativement bien, alors qu'elles en savent en réalité peu.

Mais si le public a tendance à penser que les taxes ne sont pas efficaces pour réduire les émissions, l'expérience d'un changement de comportement peut le conduire à les accepter davantage (Hammar et Jagers, 2006). Fournir des preuves de l'efficacité de la tarification du carbone en accroît l'acceptabilité, comme l'ont montré Murray et Rivers (2015) pour le cas de la Colombie-Britannique, ou Carrattini *et al.* (2017) pour la Suisse⁶.

6. Ces études contredisent ainsi les résultats plus anciens de l'étude d'économie comportementale de Kallbekken *et al.* (2011) selon laquelle l'aversion pour la taxe carbone ne semblait pas être liée à un manque de compréhension des mécanismes de la taxe puisqu'elle n'était pas modifiée par l'apport d'informations et d'explications sur son fonctionnement.

La possibilité de mettre en œuvre une fiscalité carbone efficace, sans susciter de rejet de la part de la population, impose donc aux économistes d'être en mesure de prouver que la taxe carbone a vraiment le pouvoir de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre. Or des résultats clairs sont maintenant disponibles à deux niveaux différents, microéconomique et macroéconomique.

Au niveau microéconomique, les estimations économétriques sur données individuelles de la sensibilité de la consommation d'énergie fossile à son prix (son élasticité-prix) montrent que celle-ci est significativement positive, même si elle est plus faible que pour d'autres produits considérés comme moins essentiels : pour les ménages français, les élasticités-prix non compensées sont d'environ -0,45 pour le transport, -0,2 pour le logement et -1,0 pour le reste des biens non durables (Douenne, 2020). Ces élasticités-prix décroissent en valeur absolue avec le revenu et sont plus faibles pour les ménages urbains que pour les ruraux : les ménages appartenant au premier décile de revenu et vivant dans une zone rurale ont une élasticité au prix des carburants de -0,54 tandis que celle des ménages parisiens du dixième décile de revenu est de -0,17. Pour les ménages ruraux à faibles revenus, les dépenses en énergie représentent une part plus importante du budget, d'où une réaction plus forte aux augmentations de prix afin d'atténuer leur contrainte budgétaire. Selon les estimations de Reaños (2021), il en va sensiblement de même pour les ménages irlandais.

Au niveau macroéconomique, les preuves empiriques de l'efficacité de la fiscalité carbone sont longtemps demeurées difficiles à obtenir, notamment parce que d'autres mesures en faveur de la décarbonation de l'économie ont souvent été simultanément mises en œuvre, comme des politiques d'incitation à la sobriété énergétique, des accords volontaires sur les émissions ou les consommations de carburant des véhicules individuels. Sterner (2015) regrettait ainsi l'absence d'études empiriques *ex post* sur les effets des taxes. Des travaux récents combinent cette lacune en utilisant de nouvelles méthodes économétriques particulièrement puissantes pour étudier les cas de la Suède, de la Finlande, du Royaume-Uni et de la Colombie-Britannique.

Le cas de la Colombie-Britannique présente l'avantage empirique de concerner une province du Canada qui a été la seule du pays à mettre en place une taxe carbone dès 2008. Par l'estimation d'un modèle de différences en différences (*diff-in-diff*), Rivers et Schaufele (2015) trouvent que la taxe a provoqué une baisse des émissions de

l'ordre de 11 à 16 % dans la province par rapport aux autres provinces canadiennes, en ligne avec les résultats d'autres études recensées par Murray et Rivers (2015). L'un de leurs résultats marquants est que la réponse de la demande de carburants à la taxe sur le carbone de la Colombie-Britannique est 4,1 fois plus importante que celle attribuable à une variation équivalente du prix hors taxe carbone. Pour les trois autres pays étudiés, des résultats ont été obtenus par la méthode dite de *synthetic control* qui consiste à comparer la performance du pays en question avec un pays fictif (synthétique) composé comme une moyenne pondérée de pays témoins n'ayant pas adopté de mesure similaire. En Suède, la taxe carbone aurait diminué les émissions de 6,3 % en moyenne chaque année depuis 1991 (Anderson, 2019) ; au Royaume-Uni, selon la spécification utilisée, la réduction des émissions totales du secteur de l'électricité associée à l'introduction du CPF est de 20 % à 26 % par an sur la période 2013-2017 (Leroutier, 2019)⁷. Dans le cas de la Finlande, où la taxe a été introduite en 1990 à un taux très faible de 1,75 USD\$ puis augmentée graduellement jusqu'à 23,39 USD\$ en 2005, les émissions du secteur du transport ont été inférieures de 16 % en 1995, 25 % en 2000 et 31 % en 2005 par rapport au scénario contrefactuel (Mideksa, 2021).

Organiser la dissémination vers le public des preuves ainsi rassemblées peut contribuer à accroître la connaissance de l'efficacité des mécanismes actionnés par la taxe carbone et contredire ainsi les doutes quant à son efficacité.

2. Accompagner les mutations de l'emploi

Tous les projets de tarification du carbone, que ce soit par la mise en œuvre du marché européen d'échange de quotas d'émissions négociables (SCEQE) ou par une taxe carbone, ont fait naître la crainte que l'augmentation des prix de l'énergie ainsi provoquée ne soit la source de pertes de compétitivité des entreprises vis-à-vis de l'extérieur, de délocalisations de productions et de pertes d'emplois sur le territoire national, ou européen. Ces préoccupations, en particulier pour les

7. Par des techniques de *machine learning*, Abrell *et al.* (2019) obtiennent des estimations inférieures mais toujours significatives, selon lesquelles la taxe carbone aurait permis de réduire les émissions du secteur de production d'électricité britannique de 6,2 % entre 2013 et 2016 à un coût moyen de 18,2 euros par tonne.

travailleurs les moins qualifiés, figurent au premier rang des déterminants de l'opposition à la taxe carbone (Carrantini *et al.*, 2017).

Les études existantes montrent que les effets agrégés sur l'emploi sont généralement faibles mais très hétérogènes et concentrés dans certains secteurs et certains postes (Hille et Moebius, 2019 ; Marin et Vona, 2019 ; Marin et Vona, 2021). La hausse des prix de l'énergie pousse en effet à la substitution par du capital ou du travail, éventuellement de qualification différenciée, ce qui influence les aspects distributifs de la taxation du carbone. Les effets sont très différents selon les secteurs, les professions et les niveaux d'éducation.

C'est ce que mettent en évidence les analyses des effets ex-post de taxes carbone au Royaume-Uni (Martin *et al.*, 2014) et en Colombie-britannique (Yamazaki, 2017 ; Yip, 2018). La politique mise en place par le Royaume-Uni en 2001 consistait en une taxe carbone dénommée Climate Change Levy appliquée aux entreprises du secteur manufacturier, accompagnée d'une réduction de 80 % de son taux pour celles qui signeraient un accord volontaire de réduction des émissions. Alors que le surcoût représente 15 % de leur facture d'énergie pour les entreprises taxées, les résultats de Martin *et al.* (2014) ne font pas apparaître d'effet significatif sur l'emploi de ces entreprises par rapport à celles qui ont bénéficié d'une réduction de taxe. De même, Yamazaki (2017) procède à une estimation de type différences en différences qui lui permet de comparer l'évolution de l'emploi dans les industries de la Colombie-Britannique à l'évolution de l'emploi dans les industries des autres provinces canadiennes avant et après la mise en œuvre unilatérale de la taxe sur les hydrocarbures dont les recettes sont redistribuées sous forme de transferts aux ménages et aux entreprises. Il trouve que la taxe aurait un effet négatif sur l'emploi dans tous les secteurs, mais différemment en fonction de leur intensité d'émissions et de leur exposition au commerce international, tandis que la redistribution des recettes a un effet positif sur l'emploi dans tous les secteurs. De façon agrégée, la taxe carbone de la Colombie-Britannique aurait conduit, en moyenne, à une augmentation annuelle de l'emploi de 0,74 % au cours de la période 2007-2013, au détriment des industries les plus intensives en carbone et les plus sensibles au commerce mais au bénéfice des secteurs de services beaucoup moins émetteurs. Pour Yip (2018) qui exploite les enquêtes emploi mensuelles canadiennes (Canadian Labor Force Surveys), la taxe aurait au contraire provoqué une hausse du taux de chômage global de 1,3 point de pourcentage, avec un impact d'autant plus marqué que le niveau d'éducation est faible.

Dans une étude portant sur 14 pays européens, Marin et Vona (2019) constatent que la variation à long terme des prix de l'énergie a eu des impacts biaisés en termes de compétences au détriment des travailleurs manuels et a favorisé les techniciens. Elle expliquerait entre 9,2 % et 17,5 % (resp. 4,2 % et 8,0 %) de l'augmentation (resp. de la diminution) de la part des techniciens (resp. des travailleurs manuels) dans l'emploi total. Pour la France, des résultats similaires mais moins significatifs sont obtenus (Marin et Vona, 2021). En se fondant sur ces estimations, ils simulent les effets d'une taxe carbone fixée au taux de 56€ prévu pour 2020 par la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) de 2015. Il ressort de cette étude que les pertes d'emplois induites par cette taxe carbone seraient entièrement concentrées sur les grands établissements (multi-établissements) des secteurs à forte intensité énergétique exposés à la concurrence internationale⁸, où une réduction de 10 % des émissions de CO₂ serait obtenue au prix d'une réduction de 1,7 % des emplois à court terme.

Un compromis doit donc être trouvé entre emploi et réduction des émissions dans ces industries. Et au niveau individuel, les personnes employées dans des industries à forte intensité de carbone sont souvent d'autant plus opposées aux taxes sur le carbone que leur emploi est affecté (Rhodes *et al.*, 2017 ; Beck *et al.*, 2016).

Mais, de façon disproportionnée à son importance macroéconomique, cet argument est souvent instrumentalisé pour saper l'acceptabilité des politiques climatiques (Vona, 2019 ; Vona, 2021). Affirmer que les mesures de protection du climat, telles que la promotion d'énergies renouvelables qui seraient forcément non compétitives, vont nuire à l'économie en augmentant les prix de l'énergie et en accentuant la désindustrialisation (dont les origines remontent bien au-delà de la mise en place des premières politiques climatiques), correspond à ce que Raymond (2020) appelle le *populisme économique*.

Il y a en effet un pendant aux pertes d'emplois, c'est l'ensemble des modifications structurelles et des créations d'emplois envisageables dans de nombreux secteurs, comme celui des transports publics, de la modernisation des bâtiments existants, du développement et la production de technologies économes en énergie, et tout particulièrement

8. Ce sont ces mêmes secteurs qui font l'objet de mesures préférentielles (allocations gratuites de quotas d'émission) depuis la mise en place du SCEQE, justement pour limiter les conséquences de la tarification du carbone sur ces industries.

ment le secteur de l'énergie. La transition vers une économie à faibles émissions de carbone créera de nouveaux emplois dans la production d'énergies renouvelables. Globalement, en 2050, dans le cadre du scénario « inférieur à 2°C », 84 % du total des emplois du secteur de l'énergie seraient des emplois liés aux énergies renouvelables, 11 % aux combustibles fossiles et 5 % au nucléaire. Si les emplois liés à l'exploitation de combustibles fossiles diminuent rapidement, ces pertes sont compensées par des gains d'emplois dans les secteurs de l'énergie solaire et éolienne, en particulier dans le secteur de la fabrication de ces produits (Pai *et al.*, 2021). La trajectoire à 1,5°C proposée par l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) dans son *World Energy Transitions Outlook* devrait permettre de créer 122 millions d'emplois dans le secteur de l'énergie à l'échelle mondiale d'ici à 2050 (dont 43 millions dans le secteur des énergies renouvelables) et de mettre en place les conditions nécessaires à la résilience, au développement et à l'égalité économiques à long terme. C'est le solaire photovoltaïque qui fournirait le plus d'emplois d'ici à 2050 (20 millions), suivi par la bioénergie, l'éolien et l'hydroélectricité. (IRENA, 2021).

Si au niveau macroéconomique, il est malaisé d'établir des prévisions fiables quant à l'importance relative des pertes et des créations d'emploi, il est certain que c'est surtout leur localisation qui importe pour l'acceptabilité dans les pays avancés, dont la France, de la tarification carbone. Les emplois créés le seront-ils là où se produiront les pertes d'emplois ? Or les pertes d'emplois liées à la transition sont susceptibles d'être concentrées localement, souvent dans des zones, des secteurs et des groupes sociaux spécifiques qui peuvent avoir déjà subi les effets négatifs de la désindustrialisation⁹, de la mondialisation et de la crise financière mondiale. La crainte du chômage de masse, de perte de revenus, et de déséquilibres entre les régions explique nombre d'oppositions exprimées à la politique climatique. Kitt *et al.* (2021) constatent qu'au Canada, l'opposition à la taxation du carbone est la plus faible, ou le support le plus important, dans les régions qui ne sont pas étroitement associées à des industries très polluantes et où d'ailleurs, dans de nombreux cas, des politiques climatiques sont appliquées depuis plus longtemps.

9. En l'absence d'une mesure spécifique telle que les attributions de quotas gratuits aux secteurs les plus exposés ou la taxe carbone aux frontières, la désindustrialisation déjà observée pourrait être amplifiée par des délocalisations stratégiques des parties de la chaîne de production les plus consommatrices de carbone.

Il est donc essentiel et stratégique de prévoir des mesures de soutien pour minimiser les conséquences négatives à long terme de la transition vers une économie décarbonée (Markkanen et Anger-Kraavi, 2019). La reconversion des sites obsolètes et la formation des travailleurs nouvellement licenciés peuvent contribuer à atténuer les impacts économiques négatifs des fermetures d'usines. Popp *et al.* (2021), comme Vona (2021), mettent l'accent sur les investissements dans la formation aux emplois de la transition énergétique afin de concilier équité et efficacité en réduisant les coûts de réaffectation des travailleurs déplacés par une politique environnementale. Les financements publics, les incitations pour les investisseurs et une stratégie cohérente de transition et de diversification qui s'appuie sur les compétences de la main-d'œuvre existante sont tous essentiels pour faciliter le processus de restructuration économique et atténuer les effets du déclin industriel (Campbell et Coenen, 2017).

L'acceptation des politiques climatiques passe ainsi sans doute par l'élaboration de plans de relance verte qui combinent par exemple des investissements dans des infrastructures d'énergies renouvelables ou le déploiement d'infrastructures de transport public à faible niveau d'émissions de carbone en alternative aux véhicules individuels (Vona, 2021). Il est aussi envisageable d'utiliser les recettes fiscales issues de la taxe carbone pour compenser les perdants de sa mise en place et/ou stimuler l'économie. C'est ce que nous envisageons dans les deux sections suivantes.

3. Compenser les perdants et empêcher le creusement des inégalités

Le débat parmi les économistes sur les effets de la fiscalité environnementale s'est longtemps concentré sur l'efficacité environnementale et son efficacité économique, mais ce sont surtout des préoccupations en matière de répartition qui limitent le soutien politique aux taxes environnementales. La taxe carbone est ainsi depuis des années discutée en termes d'inégalités entre les pauvres et les riches en France (Combet *et al.*, 2010 ; Laurent, 2011) et en Europe (Laurent et Le Cacheux, 2011). En Irlande, les premières tentatives d'introduction d'une taxe sur le carbone en 2004 ont été abandonnées en partie à cause de problèmes d'inégalités induites (Callan *et al.*, 2009). Les préoccupations concernant l'effet de la hausse des prix de l'énergie sur la répartition des

revenus figurent parmi les déterminants principaux du rejet du projet de taxe suisse en 2015 (Carrantini *et al.*, 2017). La résistance du public est en effet liée aux conséquences économiques perçues des taxes. Les jeunes, qui paient souvent moins d'impôts et sont les principaux bénéficiaires de la protection du climat, ont tendance à être plus favorables à la taxe carbone (Murray et Rivers, 2015).

La principale crainte des consommateurs est que les taxes sur le carbone ne détériorent leur pouvoir d'achat (Douenne et Fabre, 2020 ; Brännlund et Persson, 2012 ; Jagers et Hammar, 2009 ; Clinch et Dunne, 2006). Par exemple, l'opposition aux taxes est en général nettement plus forte chez les propriétaires de voitures (Hsu *et al.*, 2008 ; Gaunt *et al.*, 2007 ; Hammar et Jagers, 2006 ; Thalmann, 2004), qui subissent l'augmentation du prix des carburants fossiles ou doivent s'adapter en achetant un véhicule électrique ou à hydrogène, et chez les personnes vivant dans des zones rurales parce qu'elles sont plus dépendantes de leur véhicule individuel que les personnes vivant en milieu urbain (Rhodes *et al.*, 2017 ; Beck *et al.*, 2016). De même, il existe une relation négative entre les taux d'imposition et le soutien du public (Baranzini et Carattini, 2017 ; Gevrek et Uyduranoglu, 2015 ; Cherry *et al.*, 2012 ; Kallbekken et Sælen, 2011 ; Thalmann, 2004), car les contribuables souhaitent minimiser leur charge fiscale. En général, l'acceptabilité des taxes sur le carbone diminue à mesure qu'elles pèsent davantage sur les groupes à faible revenu (Brännlund et Persson, 2012 ; Berry, 2019 ; Gevrek et Uyduranoglu, 2015). Ceux-ci s'opposent plus fréquemment aux taxes sur le carbone (Maestre-Andres *et al.*, 2019). Il faut noter que cette inquiétude concernant les conséquences économiques des taxes s'exprime aussi de façon plus altruiste, parmi des groupes de population peu concernés directement, au-delà de leur intérêt personnel (Kallbekken et Sælen, 2011 ; Umit et Schaffer, 2020).

Ce ressenti correspond à une réalité, bien décrite par la théorie économique. Comme c'est le cas pour toutes les taxes indirectes, la fiscalité carbone réduit en effet le pouvoir d'achat des consommateurs et elle est généralement considérée comme une taxe régressive au sens où elle frappe relativement plus durement les ménages aux revenus les plus faibles, qui sont contraints de consacrer une part plus importante de leurs revenus à la consommation de biens polluants. Il s'agit souvent de biens nécessaires, comme les produits énergétiques utilisés pour le transport ou le chauffage (Poterba, 1991 ; Metcalf, 1999 ; Wier *et al.*,

2005 ; Ruiz et Trannoy, 2008). Comme ces dépenses sont contraintes, et que les ménages à faible revenu ne sont pas en mesure d'investir dans des véhicules ou des chaudières moins polluants, leur comportement de substitution est limité et ils ne peuvent pas réduire leur perte de pouvoir d'achat¹⁰.

Dans ces premiers travaux, l'incidence fiscale des taxes environnementales a été évaluée sur la base des seuls effets comptables, sans tenir compte de l'érosion de la base fiscale, ni des effets macroéconomiques ou intersectoriels.

L'utilisation de larges bases de données individuelles permet maintenant d'affiner le diagnostic. Pour la France, Douenne (2020) propose une analyse *ex ante* de l'augmentation du prix du carbone mise en œuvre par la loi en France en 2018, analyse fondée sur un modèle de micro-simulation de la fiscalité indirecte pour les ménages français avec des élasticités-prix estimées. Il considère à la fois les effets distributifs verticaux entre les ménages selon la dimension du revenu et les effets distributifs horizontaux entre les ménages ayant un revenu similaire : les ménages vivant dans les zones rurales et les petites villes dépensent en moyenne plus en énergie, tant pour le transport que pour le logement. Les résultats généraux quant aux impacts sur l'équité verticale de la taxe ne sont pas altérés par la prise en compte des élasticités-prix et donc de la réduction de l'assiette fiscale en raison de l'adaptation des comportements des ménages : pour les ménages appartenant au premier décile de revenu, l'augmentation de la charge fiscale due à la hausse de la taxe représentait 0,55 % de leur revenu disponible, contre 0,21 % pour ceux du dernier décile de revenu. En revanche, elle représente respectivement environ 0,37 % et 0,32 % de leurs dépenses totales. Mais le résultat le plus marquant de cette étude est que les inégalités horizontales l'emportent sur les inégalités verticales, confirmant ainsi pour la France les résultats de Cronin *et al.* (2019), Sallee (2019), et Fischer et Pizer (2019) : dans le cas du reversement forfaitaire des recettes fiscales de la taxe à tous les ménages, plus de 30 % de ceux du premier décile de revenu, et 60 % de ceux du dernier décile seraient encore perdants, avec une hétérogénéité significative des pertes à l'intérieur de chaque décile de revenu.

10. Lorsque le taux d'effort des ménages est mesuré en fonction des dépenses totales (utilisées comme un proxy du revenu de la vie entière) au lieu du revenu courant, la taxe apparaît néanmoins beaucoup moins régressive (Poterba, 1991).

Reaños et Lynch (2022) quantifient dans le cas de l'Irlande les effets distributifs verticaux et horizontaux de la taxation du carbone en utilisant un système de demande entièrement flexible. Ils montrent que les pertes de pouvoir d'achat sont le principal canal des pertes de bien-être tandis que les pertes dues aux limitations de la substitution énergétique jouent un rôle mineur. Détaillant les raisons de l'hétérogénéité horizontale, ils trouvent que les ménages ruraux ou retraités sont les plus touchés par la taxation du carbone, et que la plus grande hétérogénéité dans la charge fiscale est ressentie par les couples avec enfants à charge et les ménages urbains. Reanos (2021) montrait déjà qu'une augmentation de 1 % des taxes sur le carbone augmenterait de 0,5 % le nombre de personnes en situation de précarité énergétique et qu'il est nécessaire de s'attaquer simultanément aux inégalités de revenus et d'efficacité énergétique pour contrecarrer l'effet régressif des taxes sur le carbone en Irlande.

La crainte d'une certaine injustice fiscale est légitime mais elle peut aussi faire l'objet d'une perception biaisée. C'est ce que démontrent Beck *et al.* (2016) en examinant les effets distributifs de la taxe sur le carbone de la Colombie-Britannique à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable de l'économie canadienne. Constatant que la population rurale aurait effectivement subi un fardeau disproportionné si la taxe sur le carbone avait été introduite sans mesures de redistribution, mais que le programme de recyclage des recettes introduit parallèlement à la taxe a suffi à compenser l'iniquité, ils considèrent que le programme de transferts supplémentaires (Northern and Rural Homeowner Benefit Program) mis en place ensuite pour répondre aux protestations du public, était inutile. D'ailleurs, ce nouveau programme n'a apparemment pas réussi à accroître le soutien à la taxe sur le carbone dans les communautés rurales, qui pourtant s'en sortent mieux en moyenne que les ménages des grands centres urbains. Un résultat similaire de surestimation des coûts subis personnellement est mis en évidence pour les ménages français par Douenne et Fabre (2020) qui l'interprète comme symptomatique de la difficulté pour un ménage de calculer ses pertes personnelles. Cela pourrait aussi être l'effet d'un biais psychologique dû à un sentiment d'aversion pour la taxe.

De façon générale, le public surestime les aspects négatifs et sous-estime les bénéfices des taxes (Carattini *et al.*, 2018 ; Carattini *et al.*, 2019). Il a également tendance à sous-estimer les coûts cachés des mesures alternatives, comme la réglementation ou les investissements

dans les transports propres (Jagers et Hammar, 2019), ou les normes d'électricité verte, dont le prix à payer n'est qu'implicite et donc quasi-mérit invisible (Levi, 2020).

Certaines voix s'élèvent néanmoins, surtout parmi les économistes étudiant le cas des États-Unis, pour relativiser le diagnostic concernant les effets de régressivité verticale de la tarification du carbone. En effet, au-delà des effets de la taxe et donc des prix de l'énergie sur l'utilisation de leur revenu par les ménages (*use side effect*), Fullerton et Monti (2013) ont mis en évidence le fait que la taxe, en affectant le système de production, modifie également les rémunérations et les sources qui constituent le revenu des ménages (*source side effect*). Fullerton et Heutel (2010) avaient montré que les politiques environnementales peuvent nuire davantage à la rémunération du capital qu'à celle du travail car les industries polluantes sont relativement plus intensives en capital que les autres industries. La mise en œuvre de politiques qui les affectent négativement est donc préjudiciable au facteur qu'elles utilisent le plus intensivement. Du seul point de vue du revenu des facteurs de production, une taxe sur l'énergie peut être progressive, car les revenus des ménages les plus riches sont plus affectés que ceux des pauvres.

Des simulations de modèles d'équilibre général soulignent ainsi cet impact significatif des écotaxes sur la formation du revenu des ménages (du côté des sources de revenu), par le biais d'une modification des prix des facteurs, comme les salaires relatifs ou les revenus du capital : la progressivité du côté des sources apparaît suffisamment forte pour compenser la régressivité du côté des utilisations du revenu, dans le cas du Canada (Dissou et Siddiqui, 2014) ou des États-Unis (Mathur et Morris, 2014 ; Rausch *et al.*, 2011). De même pour l'Autriche, la taxe carbone apparaît progressive même sans redistribution des recettes en raison des *source side effects* (Mayer *et al.*, 2021). À notre connaissance, aucune étude n'a chiffré ces effets respectifs pour l'économie française. Remarquons néanmoins que les modèles d'équilibre général mettent en évidence des effets de long terme, et que les *use side effects* l'emportent très vraisemblablement pendant la transition.

La reconnaissance des pertes de pouvoir d'achat subies par les ménages, et surtout de leur hétérogénéité multi-dimensionnelle, appelle la mise en place d'*amortisseurs sociaux*, c'est-à-dire de schémas de compensation financés par les recettes perçues grâce à la taxe (Beiser-McGrath *et al.*, 2019). La façon la plus simple de compenser

ceux qui y perdent le plus est de verser à chacun le même montant forfaitaire, indépendamment donc de la charge fiscale subie (Boyce, 2021 ; Budolfson *et al.*, 2021a). Bénéficiant davantage aux ménages dont les revenus sont les plus faibles, ce mode de redistribution est progressif et peut atténuer, voire éliminer les aspects régressifs de la fiscalité carbone, ce que montrent bien les études menées grâce à des modèles de micro-simulation (Berry, 2019 ; Cronin *et al.*, 2017 ; Douenne, 2020 ; Budolfson *et al.*, 2021b). Il ne règle en revanche pas les problèmes de disparités et d'inégalités observés à l'intérieur d'une même classe de revenus : les compenser supposerait une politique de versements compensatoires ciblés en fonction de la situation particulière de chaque ménage (Berry, 2019 ; Reaños et Lynch, 2022).

Les effets sur l'équité dépendent naturellement des inégalités préexistantes. Sur des données de ménages allemands, van der Ploeg *et al.* (2022) montrent ainsi que la redistribution forfaitaire de la totalité des recettes d'une taxe carbone au taux de 50€/tonne ne peut emporter l'adhésion de la majorité et qu'il conviendrait plutôt en Allemagne de redistribuer pour moitié par transfert forfaitaire, et pour moitié par réduction du taux d'imposition du revenu.

C'est bien le choix de la redistribution forfaitaire des recettes fiscales dégagées qui a permis au gouvernement suisse d'aplanir la voie à un nouveau projet de taxation de toutes les énergies fossiles adopté peu après le rejet de la précédente proposition en 2015 (Baranzini et Carrattini, 2017).

4. Saisir l'occasion d'une réforme fiscale d'ensemble

Du point de vue de la théorie des finances publiques, la redistribution forfaitaire des recettes dégagées par la fiscalité carbone est loin d'être l'option la plus efficace économiquement (Goulder, 1995). Il conviendrait au contraire d'utiliser ces recettes pour réduire d'autres taxes génératrices de distorsions – du moins dans le cas de systèmes fiscaux préexistants non optimaux, ce qui est le cas dans tous les pays puisque tout impôt non forfaitaire introduit une distorsion fiscale. Dans la mesure où la taxe carbone n'a pas pour objectif premier de procurer un revenu à l'État pour financer des dépenses publiques déterminées par ailleurs, ce revenu est en effet disponible pour augmenter l'efficacité économique de la politique.

Un verdissement de la fiscalité consistant en une taxe sur les énergies fossiles dont les recettes sont redistribuées en réduisant les taux des taxes distordantes (par exemple, les taxes, ou les charges sociales, sur le travail), pourrait produire un *double dividende* : un dividende environnemental, par la réduction des émissions, et un *dividende économique*, par l'augmentation du bien-être non environnemental en raison de l'efficacité accrue du système fiscal (Goulder, 1995 ; Chiroleu-Assouline, 2001). Un tel recyclage des recettes de la taxe carbone peut être efficace mais il pourrait également exacerber la régressivité des taxes vertes, comme l'ont montré Fullerton et Monti (2013) et Williams *et al.* (2015) pour les États-Unis. Dans le cas de l'Espagne, une redistribution des recettes axée sur l'amélioration de l'efficacité de l'économie, passant par la réduction des charges sociales, a un impact légèrement régressif sur le bien-être des ménages (García-Muros *et al.*, 2022). Par conséquent, les gouvernements sont confrontés à un dilemme essentiel : concevoir des réformes fiscales environnementales avec un objectif distributif, sans perdre l'avantage d'efficacité de la taxe carbone.

Cette question de la compatibilité entre équité et efficacité des réformes fiscales vertes a été analysée par Chiroleu-Assouline et Fodha (2005, 2009) dans un cadre théorique, avec un modèle de générations imbriquées intégrant des hétérogénéités inter-générationnelles puis en y ajoutant des hétérogénéités intra-générationnelles (Chiroleu-Assouline et Fodha, 2011, 2014). Ils montrent en particulier que l'utilisation de la progressivité des prélèvements sur le travail permet de concevoir un mécanisme de recyclage, par réduction de l'impôt sur le revenu mais renforcement de sa progressivité, qui rend la réforme fiscale Pareto-améliorante. À l'aide d'un modèle qui rend compte des inégalités d'accès à l'emploi selon le niveau de qualification, Aubert et Chiroleu-Assouline (2019) montrent qu'un tel mécanisme de redistribution peut permettre d'obtenir à la fois un double dividende, économique et environnemental, et de veiller au respect de l'équité entre travailleurs aux niveaux de revenu différents en assurant la progressivité de la réforme d'ensemble. Il serait par ailleurs possible théoriquement de définir une réforme d'ensemble qui tienne également compte des effets distributifs horizontaux afin de s'assurer de compenser tous les perdants mis en évidence par Salle (2019). La mise en œuvre pratique d'une telle réforme apparaît néanmoins très délicate et d'autant plus difficile en France aujourd'hui que les prélèvements sociaux sur les salaires les plus faibles ont déjà été quasiment réduits à zéro sans que pour autant cette réduction n'ait été envisagée comme une composante d'un verdissement de la fiscalité.

De tels scénarios de redistribution des recettes fiscales procurées par la taxe carbone ont beau être les plus efficaces, ils sont difficiles à appréhender par les contribuables qui en fait rejettent même des scénarios plus simples, comme la redistribution forfaitaire, et préfèrent que les revenus tirés de la taxe soient simplement affectés à des projets de lutte contre le changement climatique (Baranzini et Carattini, 2017). Les travaux de Carattini *et al.* (2017) montrent ainsi que les chances de l'initiative populaire de 2015 rejetée en Suisse auraient été bien plus élevées si les recettes fiscales avaient été affectées à des fins environnementales plutôt qu'au remplacement de la TVA, toutes choses égales par ailleurs (Carattini *et al.*, 2017). La taxe devient autant acceptable que la redevance dès lors que ses recettes sont affectées à des projets de mitigation environnementale (Kallbekken *et al.*, 2011). Selon Maestre-Andrés *et al.* (2019), une taxe sur le carbone dont les recettes sont entièrement consacrées au soutien de projets climatiques est l'option la plus acceptée et renforce la perception de l'efficacité et de l'équité de la politique globale¹¹. Sommer *et al.* (2020) interprètent la réticence du public à une redistribution des recettes à autre chose qu'à des dépenses de mitigation comme la preuve que les citoyens trouvent l'idée de réduire la pollution par un prix si peu intuitive que des dépenses vertes sont nécessaires pour les convaincre de l'impact de la politique environnementale. D'ailleurs, Carattini *et al.* (2017) constatent que lorsque l'écart entre l'efficacité perçue (éventuellement faible) et l'efficacité prédictive (plus élevée) de la taxe est compensé par la fourniture d'informations sur la réduction des émissions associée à différents niveaux de taxe sur le carbone, les choix des répondants changent parmi les scénarios de redistribution proposés : l'affectation de fonds à des abattements supplémentaires n'est plus particulièrement attrayante tandis que l'information sur les prévisions des scénarios rend au contraire les transferts forfaitaires particulièrement populaires, en faisant ressortir leurs propriétés progressives.

Seule la Suède a mis en œuvre dans les années 1990 une importante réforme fiscale environnementale neutre sur le plan budgétaire, en remplaçant une partie de sa fiscalité sur le travail (pour 6 % du PIB) par des taxes sur l'énergie et le carbone. Elle avait été longuement discutée

11. Les préférences des citoyens sont néanmoins hétérogènes, comme le montre l'étude menée par Carattini *et al.* (2019) sur 5 000 personnes environ dans 5 pays (Inde, Afrique du Sud, Australie, Royaume-Uni, États-Unis) : c'est la baisse de l'impôt sur le revenu qui ressort comme l'option préférée, précédant la redistribution au niveau national de façon forfaitaire à chaque citoyen, puis l'affectation des recettes à des projets de réduction des émissions dans tous les pays.

et accompagnée d'efforts pédagogiques importants. Dans le cas de la taxe carbone de la Colombie-Britannique, il semble que le public a eu du mal au départ à faire le lien entre les réductions d'impôt sur le revenu et la hausse des prix de l'énergie (Harrison, 2013 ; Raymond, 2019), mais qu'avec le temps et l'expérience, la taxe a gagné en popularité (Murray et Rivers, 2015 ; Mildenberger *et al.*, 2016).

La complexité de telles réformes de verdissement de la fiscalité imposerait donc de les accompagner de campagnes d'information et d'explication, sous peine de les voir massivement rejetées, comme cela a été le cas dans la province de l'Ontario (Canada) d'un projet (rejeté) de tarification carbone par un marché de droits d'émission négociables dont les recettes des ventes de permis devaient être redistribuées sous forme de baisse de charges sociales. Raymond (2020) voit dans cette expérience un avertissement sur l'importance de concevoir et d'encastrer les politiques de tarification du carbone de manière à désamorcer le pouvoir potentiel des attaques populistes axées sur les conséquences des prix de l'énergie pour les « familles de travailleurs ». L'échec peut résulter autant du manque d'information, de l'incompréhension des mécanismes que de la méfiance envers les politiques et du sentiment d'injustice face à une mesure favorisant apparemment les entreprises.

5. Combattre le sentiment d'injustice fiscale

Le sentiment d'injustice fiscale est identifié comme l'une des principales causes d'opposition à la taxe et il ne se limite pas à ses seuls aspects redistributifs. C'est un sentiment multiforme et hétérogène, dont Povitkina *et al.* (2021) analysent les différents aspects selon la fréquence des arguments invoqués par des citoyens des États-Unis. Le plus grand nombre d'entre eux (21 %) trouvent les taxes injustes parce que les carburants sont déjà trop chers tandis que 17 % les trouvent injustes par manque de confiance dans le gouvernement et le personnel politique. La réponse « injuste envers les populations rurales » (17 %) est très corrélée au besoin exprimé de conduire un véhicule individuel. Ceux qui considèrent que l'injustice réside dans le poids excessif de la taxe sur le pouvoir d'achat des pauvres et de la classe moyenne ne sont que 14 %. Enfin 12 % considèrent que la taxe est injuste parce que sa mise en place n'est pas justifiée (ce qui peut recouvrir des répondants climato-sceptiques) et 10 % que les entreprises devraient être taxées comme les ménages. L'invocation du

sentiment d'injustice habille ainsi aussi la méfiance politique et le climato-scepticisme. Son caractère multiforme rend évidemment difficile de trouver un instrument unique qui apaise toutes ces craintes.

La perception du caractère juste ou injuste de la fiscalité carbone est en fait différente selon les individus, très liée à leur intérêt personnel, et elle conditionne de façon significative leur attitude à l'égard de la taxation des carburants. Hammar et Jagers (2007) ont ainsi examiné l'impact sur cette attitude, pour des citoyens suédois, de trois principes différents de justice : le principe d'équité (les niveaux d'efforts de réduction doivent être proportionnés aux émissions), le principe d'égalité (l'effort doit être le même pour tous) et le principe de nécessité (le niveau d'effort doit être inversement proportionnel au niveau d'émissions). Ils constatent que l'adhésion des individus aux principes d'égalité ou de nécessité a un impact fortement positif sur leur soutien à une augmentation éventuelle de la taxe sur les carburants. Mais parmi les utilisateurs fréquents d'une voiture, seule l'adhésion au principe de nécessité emporte un vote favorable à la hausse de la taxe, tandis que parmi les utilisateurs occasionnels, seule l'adhésion au principe d'équité prédit un vote favorable. Il n'y a en revanche pas de différence de soutien à la hausse de la taxe entre les deux catégories d'utilisateurs lorsqu'ils adhèrent au principe d'égalité.

Sommer *et al.* (2020) trouvent que donner des explications sur les conséquences en termes d'équité des différents schémas de redistribution envisagés incite certains individus à repenser leurs préférences en la matière. En particulier, les répondants sont détournés de leur préférence pour les transferts forfaitaires et préfèrent plutôt diriger les compensations vers les individus les plus pauvres ou les plus affectés. L'augmentation du soutien public peut être nécessaire pour la mise en place et le maintien des prix du carbone – et les opinions sur l'équité sont importantes pour comprendre ce soutien, mais au-delà de cela, elles pourraient ne pas être un bon guide pour concevoir des politiques justes.

Les ménages britanniques interrogés par Bristow *et al.* (2010) témoignent d'une préférence nette pour la justice fiscale, pas seulement en termes distributifs, mais aussi en termes de besoins : la taxe leur paraîtrait acceptable si les premières 4 tonnes de carbone par personne étaient exemptées. Il faut noter qu'une telle mesure ne pourrait trouver de cohérence que si le taux de taxe sur les émissions au-delà de ces 4 tonnes était plus élevé qu'en l'absence de cette gratuité.

Non pour des raisons de rendement, mais pour des raisons d'incitations de ménages imparfairement informés¹².

Enfin, à notre connaissance, bien qu'il soit établi que les ménages les plus riches émettent beaucoup plus de carbone que les ménages les plus pauvres (Chancel *et al.*, 2021 ; Oxfam, 2021), la littérature n'a pour l'instant pas établi de lien entre l'injustice fiscale perçue et le souhait que les émissions des riches soient davantage taxées que celles des pauvres. Certaines propositions dans l'arène politique vont cependant dans ce sens.

6. Restaurer la confiance

Il est patent que les niveaux de confiance politique sont assez bas et en diminution dans tous les pays européens (Algan *et al.*, 2017 ; Carattini *et al.*, 2018). Or la confiance des citoyens envers leur gouvernement ou le personnel politique joue un rôle crucial dans leur attitude vis-à-vis des mesures de politique économique mise en place, et tout particulièrement vis-à-vis de la tarification du carbone. Hammar et Jagers (2006) ont ainsi montré que le consentement à la taxe augmente nettement et significativement avec la confiance dans les institutions (parlement, personnel et partis politiques), et avec la qualité perçue des institutions (dans ses trois dimensions de corruption, justice et bureaucratie). Ce n'est pas le cas en ce qui concerne les subventions, peut-être parce que le paiement des taxes implique un coût direct et mesurable pour les contribuables, tandis que la perception de ce coût quand il s'agit de financer des subventions demande un effort cognitif plus important (Davidovic et Harring, 2020). Il apparaît par exemple qu'un niveau élevé de confiance politique annule le différentiel d'opposition politique à une augmentation des taxes sur le CO₂ entre les personnes qui disposent d'une voiture et celles qui n'en ont pas (Hammar et Jagers, 2006). Huber et Wicki (2021) montrent que la confiance dans le gouvernement joue un rôle important dans le soutien aux politiques de transport, quelles qu'elles soient. Essentiellement, les citoyens qui font confiance au gouvernement lui font généralement confiance pour mettre en œuvre des mesures appropriées en matière de transport.

12. Alors qu'un consommateur parfaitement informé réagit en fonction du prix marginal, il a été montré que ce n'est pas le cas dans le cas de la tarification non-linéaire de l'eau, les consommateurs ajustant leur demande en fonction du prix moyen perçu (voir par exemple Binet *et al.*, 2014).

Dans le cas de la Suède la confiance dans les politiciens a été un facteur crucial d'adhésion de la population au verdissement de la fiscalité, malgré la complexité des mécanismes mis en œuvre, tandis qu'au contraire la forte opposition à la taxe exprimée en France par le mouvement des Gilets jaunes est interprétée par Douenne et Fabre (2020) comme résultant entre autres de leur absence de confiance dans le gouvernement. Au Canada, dans les discussions récentes sur la mise en place d'un système fédéral de taxation du carbone, l'opposition à la taxe est inversement corrélée au niveau de confiance dans le gouvernement fédéral (Kitts *et al.*, 2021).

L'aversion pour la taxe, comme le rejet des schémas de redistribution, résultent en grande partie d'un manque de confiance, envers les experts sans doute, mais surtout envers les gouvernements (Umit et Schaffer, 2020). Augmenter le coût de la pollution peut bien être un moyen de dissuasion efficace, mais l'opinion la plus courante est que la taxe carbone n'est qu'un impôt comme les autres, introduit pour des raisons de rendement, l'argument environnemental étant soupçonné d'être utilisé comme un alibi par des gouvernements soucieux d'augmenter les recettes publiques (Hammar et Jagers, 2006 ; Klok *et al.*, 2006 ; Carattini *et al.*, 2018 ; Drews et van den Bergh, 2016) plutôt que de consacrer ces recettes à la transition écologique ou de les redistribuer (Hsu *et al.*, 2008 ; Clinch et Dunne, 2006). La méfiance fait apparaître une incertitude quant à la possibilité que les taxes puissent être ou soient utilisées pour résoudre les problèmes environnementaux. C'est pourquoi, comme le montrent de nombreuses études, l'affectation des fonds à des projets contribuant à la transition énergétique permet d'accroître le niveau de soutien à la taxation, car cette affectation apporte une certaine certitude que les taxes peuvent être et seront utilisées pour résoudre certains problèmes environnementaux (Kallbekken et Aasen, 2010 ; Bristow *et al.*, 2010 ; Gevrek et Uydu ranoglu, 2015 ; Baranzini et Carattini, 2017 ; Carattini *et al.*, 2017 ; Beiser-McGrath et Bernauer, 2019 ; Carattini *et al.*, 2019).

Au-delà du manque de confiance, d'autres facteurs et biais psychologiques ou cognitifs se combinent avec les effets précédemment évoqués pour affecter l'acceptabilité de la taxation des énergies fossiles. La conscience environnementale, le positionnement politique ou la qualité de la gouvernance politique figurent parmi ceux qui sont le plus souvent mentionnés.

Pour Levi *et al.* (2020), une bonne gouvernance et une conscience élevée des problèmes environnementaux sont des déterminants essentiels de la possibilité de mettre en place un prix élevé du carbone.

En outre l'orientation politique (Démocrates/Républicains ; gauche/ droite) apparaît comme un facteur important de soutien à la taxation du carbone chez Drews et van den Bergh, (2016) et Hammar et Jagers (2017) pour la Suède, comme chez Borstein et Lanz (2008) pour la Suisse. Jagers *et al.* (2019) constatent que les individus situés à droite du spectre politique en Suède sont plus susceptibles que ceux de gauche de s'opposer aux propositions de hausse de la taxe suédoise existante sur le CO₂. Cependant, ils sont plus favorables que ceux de gauche à cette hausse de la taxe carbone si elle permet de réduire simultanément l'impôt sur le revenu. Sur la base d'enquêtes aux États-Unis, au Canada et en Allemagne, Jagers *et al.* (2021) trouvent que le recyclage forfaitaire des recettes fiscales peut avoir un effet modeste sur l'atténuation de l'opposition à la taxe carbone, et que ces effets sont effectivement conditionnés par le positionnement politique. Sommer *et al.* (2020) notent que les partisans de la gauche ont tendance à préférer la redistribution aux plus pauvres alors que ceux qui sont personnellement les plus touchés par la hausse des prix du carbone préfèrent être compensés. Ainsi les dépenses vertes sont nettement plus populaires auprès des citoyens qui ont des attitudes pro-environnementales, qui croient que le changement climatique est réel, qui font confiance au gouvernement et qui se situent politiquement à gauche. Une conséquence importante est que les dépenses écologiques, bien que largement acceptées, risquent donc de « prêcher des convertis » plutôt que d'obtenir le soutien de la société auprès des groupes qui ont tendance à s'opposer à l'action climatique. En tant que telles, elles peuvent conduire à une polarisation accrue d'une question déjà polarisée.

Enfin, selon Davidovic *et al.* (2020), les facteurs traditionnels de consentement aux taxes environnementales, comme la conscience des problèmes environnementaux et la position vers la gauche de l'échiquier politique, voient leurs effets renforcés dans des pays caractérisés par une qualité élevée de leur gouvernement

Les données *European Social Survey* exploitées pour l'année 2016 par Davidovic et Harring (2020) font apparaître des hétérogénéités assez fortes entre pays quant à l'acceptabilité de la taxe carbone et les préférences des citoyens pour d'autres politiques. Il convient de noter

que la France présentait dès cette époque, et avant le mouvement des Gilets jaunes de 2018, l'un des niveaux les plus faibles de soutien à la taxe carbone, avec à peine plus de 20% de citoyens favorables à la taxe, quand ils étaient 60 % en Suède. De façon symétrique, la France présentait l'un des taux les plus élevés (60 %) de soutien à des mesures réglementaires, comme les interdictions des technologies à l'efficacité énergétique la plus faible. En revanche les subventions font l'objet d'une approbation générale dans tous les pays européens (entre 60 % et 90 %, et 75 % pour la France).

Il est ainsi légitime de se demander s'il n'existerait pas aussi un biais spécifiquement français ? En effet, la France faisait déjà partie du groupe de pays ayant connu le plus d'événements de type « *fuel riots* » – ou émeutes liées au prix du carburant – de 2005 à 2016 (l'épisode des Gilets jaunes ayant eu lieu hors de cette période).

Or Natalini *et al.* (2020) démontrent l'existence de liens entre les émeutes du carburant et les prix internationaux élevés du pétrole brut dans les pays caractérisés par une faible capacité étatique, une gouvernance déficiente, une pénurie de carburant et de mauvaises performances économiques, ce qui semble placer la France en position de point aberrant de cette estimation puisque sa capacité étatique, sa gouvernance et ses performances économiques sont au niveau d'autres pays européens n'ayant pas connu de *fuel riots* pendant la période.

Des travaux d'analyse des discours des manifestants Gilets jaunes mettent en évidence la focalisation sur quatre points de vue statistiquement distincts : une critique systémique du capitalisme ; une action environnementale juste ; la priorité sur les revenus et le pouvoir d'achat des gens ordinaires ; et l'inégalité et les responsabilités des entreprises (Mehleb *et al.*, 2021). Ces recherches soulignent l'importance de l'idéologie dans la formation des points de vue et le filtrage des attitudes à l'égard des taxes sur le carbone. Pourtant, au-delà des différences idéologiques, un consensus apparaît entre tous les discours, à savoir qu'il devrait y avoir plus de consultation dans la politique de transition énergétique ; que les riches et non les pauvres devraient payer le coût de la transition ; et que le gouvernement devrait utiliser les recettes fiscales uniquement pour la transition.

Douenne et Fabre (2022) estiment qu'après le mouvement des Gilets jaunes, les Français rejettentraient largement une réforme composée de taxes et de dividendes, c'est-à-dire une taxe carbone dont les recettes sont redistribuées de façon forfaitaire. Ils surestiment

leurs pertes monétaires nettes, pensent à tort que cette politique est régressive et ne la perçoivent pas comme efficace sur le plan environnemental. Ils montrent que le fait de changer les croyances des gens peut augmenter considérablement leur soutien. Bien que l'amélioration de l'information exerce des effets significatifs sur les croyances, ils sont faibles. En effet, les personnes interrogées qui s'opposent à la taxe ont tendance à écarter les informations positives la concernant, ce qui est cohérent avec la méfiance, l'incertitude ou le raisonnement motivé.

La comparaison avec le cas allemand est éclairante. En Allemagne, des discussions ont commencé en 2019 pour instaurer une taxe carbone, finalement introduite à compter de janvier 2021, au taux de 25€/tonne, amené à augmenter jusqu'à 55 ou 65€/tonne en 2026. Pendant des mois, les débats ont fait rage sur l'efficacité de l'instrument, le prix requis, et surtout sur les effets sociaux induits et les éventuelles mesures compensatoires (par exemple, une éventuelle redistribution par habitant des recettes baptisée « *Klimadividende* ») ou d'autres aides ciblées pour les ménages fortement touchés. Merten *et al.* (2022) rapportent que les sondages d'opinions ont révélé pendant la concertation une assez bonne acceptation de la mesure. Une majorité des sondés (environ 73 %) accepteraient la tarification du carbone, 42 % seulement s'il y avait également une compensation, et 28 % même sans compensation. Seuls 25 % rejetaient une taxe sur le carbone ; la moitié des répondants de ce groupe (12,2 %) la rejettent par principe, tandis que les autres le faisaient en raison d'un manque de faisabilité. La concertation a finalement abouti à la conception d'un *Klimapaket* comprenant un ensemble de mesures compensatoires visant à réduire les prix de l'électricité, une allocation de déplacement domicile-travail plus élevée et une réduction des frais de transport public.

7. Quelles pistes pour la France ?

La convention citoyenne pour le climat réunie en 2019-2020 ayant repoussé a priori et sans débat l'idée même de la reprise d'une trajectoire de taxe carbone compatible avec les ambitions françaises d'émissions nettes ramenées à zéro en 2050, elle a proposé essentiellement des mesures d'ordre réglementaires. Or sans taxation des émissions, l'efficacité de telles mesures est menacée par l'effet rebond qui ne saurait manquer de se produire : de la même manière que la réduction de la consommation de carburant des véhicules thermiques

individuels en a réduit le coût d'utilisation, ce qui a contribué à l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus et du nombre de véhicules possédés par ménage, l'obligation de rénovation énergétique des bâtiments risque de voir son efficacité compromise par une moindre attention portée par les occupants à leur facture énergétique. Il est donc nécessaire d'expliquer à nouveau, clairement, la nécessité de rehausser le taux de la composante carbone de la TICPE et de démontrer l'efficacité sur la réduction des émissions de mesures similaires prises dans d'autres pays.

On peut naturellement se demander s'il est opportun de songer à renchérir encore le coût de l'énergie dans un contexte où celui-ci atteint des niveaux record en raison de la forte augmentation des prix du pétrole et du gaz sur les marchés internationaux, amenée à se renforcer depuis l'invasion de l'Ukraine par la Russie (le 24 février 2022). Cette situation plaide au contraire pour un niveau élevé de taxe carbone, joint aux mesures d'accompagnement décrites dans cet article : la réduction de la consommation d'énergies fossiles réduirait d'autant plus la dépendance vis-à-vis des importations et donc des fluctuations des prix internationaux.

L'ampleur de l'aversion pour la taxe qui s'est exprimée en France montre qu'il sera nécessaire de mettre en œuvre tous les moyens de réduire les réticences. Cela passe en particulier par la terminologie utilisée, et ce à deux niveaux. En effet, les études d'économie comportementale montrent que le même instrument suscite une adhésion plus forte, et moins de réactions de rejet, s'il est dénommé redevance (*fee*) ou contribution plutôt que taxe (voir par exemple Kallbekken *et al.*, 2011 ; Baranzini et Carattini, 2017). Ce n'est nullement un artifice de communication qui avait fait choisir le nom de *contribution climat-énergie* par le comité présidé par Michel Rocard en 2009, et qui avait abouti au projet de tarification carbone finalement retoqué par le Conseil constitutionnel en 2010. L'objectif était bien d'insister sur le fait que la politique consistait à faire payer à chaque émetteur de carbone une contribution à la préservation du bien public qu'est le climat. L'appeler redevance aurait été équivalent, le paiement correspondant alors à l'utilisation du bien public. Mais la communication sur ce point a sans doute été insuffisante et journalistes, politiques et surtout opposants à la politique climatique l'ont immédiatement rebaptisé taxe carbone. Il s'est produit exactement la même chose avec l'introduction de la composante carbone de la TICPE en 2014,

aussitôt désignée comme taxe carbone. On peut craindre qu'il soit maintenant impossible de revenir sur cette appellation, dans le contexte actuel de méfiance vis-à-vis du gouvernement. Ce serait sans doute interprété comme une volonté de dissimulation de la véritable nature de l'instrument.

L'autre virage terminologique malheureux est celui qui a vu l'apparition dans le débat public du terme d'écologie punitive au sujet de la taxe carbone. Depuis lors, ce terme a connu une fortune inversement proportionnelle à sa pertinence. Il insiste sur une vision très négative de la taxe, comme une mesure coercitive, à laquelle il est impossible d'échapper (Drews et van den Bergh, 2016). Or justement, le principe de la fiscalité d'inspiration pigouvienne est bien d'inciter à des modifications de comportements pour amener à la réduction des émissions. Plutôt que de parler d'écologie punitive, qui suscite le rejet *via* le sentiment de perte de liberté personnelle et d'absence de choix (Drews et van den Bergh, 2016), il vaudrait mieux insister sur la nécessité de proposer des solutions alternatives, ce qui accroîtrait l'acceptabilité d'une politique *a priori* coûteuse en procurant des échappatoires (Kallbekken et Aasen, 2010).

Un point essentiel, nous l'avons vu, concerne l'utilisation des recettes fiscales engendrées par la taxe. À ce sujet, Klenert *et al.* (2018) adoptent une position essentiellement pragmatique, conditionnant le choix du mode de recyclage au contexte politique afin de favoriser l'acceptabilité, éventuellement au détriment de l'efficacité économique. Dès lors que les efforts nécessaires de pédagogie quant aux avantages pour la lutte contre le changement climatique d'un prix élevé du carbone auront porté leurs fruits, il n'est plus nécessaire d'affecter explicitement ni exclusivement les recettes à des dépenses écologiques. Elles peuvent alors permettre de répondre aux exigences d'équité, par des transferts ciblés ou forfaitaires, voire de rechercher une efficacité économique plus grande, en rééquilibrant le système fiscal. Cette dernière option exige que la confiance dans le gouvernement soit élevée, ce qui, en France, en éloigne la perspective à court terme... Dans tous les cas, il est indispensable d'organiser la transparence la plus rigoureuse sur cette utilisation des recettes, à l'instar de ce qui se fait en Colombie-Britannique et qui a fortement contribué à l'acceptation de la taxe.

La dernière dimension de l'acceptabilité du redémarrage d'une politique climatique ambitieuse fondée sur une tarification du carbone

repose sur la mise en œuvre de mesures complémentaires pour combattre le sentiment d'injustice fiscale en accroissant l'impact environnemental de la politique. Fesenfeld (2020) montre en effet que la combinaison de mesures différentes affecte l'acceptabilité de l'ensemble par un mécanisme de compensation, que la complexité des combinaisons proposées n'est pas un obstacle en soi à leur acceptabilité, et qu'une taxe carbone élevée est considérée comme plus acceptable si elle est accompagnée d'autres mesures, par exemple un soutien important aux modes de transport à faibles émissions, une forte augmentation des normes d'émission pour les constructeurs automobiles mais aucune limitation de l'accès aux centre-ville avec des voitures à carburant fossile. De nombreuses options sont sur la table, comme combiner la taxe avec des subventions sur les énergies renouvelables et/ou sur l'achat ou l'utilisation de véhicules alternatifs, afin de réduire l'impact de la hausse du prix de l'énergie, ou encore comme les mesures constituant le *Klimapaket* mis en place en Allemagne. La principale conclusion de Fesenfeld (2020) est qu'il est peu probable que la seule complexité de l'information modifie sensiblement l'opinion publique. Face à des ensembles de politiques complexes, les personnes interrogées font toujours des choix rationnels et une combinaison judicieuse d'instruments politiques coûteux et compensatoires est cruciale pour accroître le soutien du public aux politiques climatiques transformatrices.

Pour répondre à la préoccupation des Gilets jaunes que les ménages les plus riches soient taxés davantage que les autres, il existe plusieurs options plus ou moins faisables. Par exemple, Jacobs *et al.* (2021) montrent dans le cas de l'Allemagne que la combinaison de la taxation du diesel et de celle du kéroène serait une politique naturellement progressive, avant même toute redistribution des recettes. Les propositions d'ISF climatique vont dans le même sens. Fondées sur la constatation du poids important des émissions de GES des plus riches (Oxfam, 2021 ; Chancel *et al.*, 2021), certains envisagent une taxe carbone à des taux différenciés, le taux le plus élevé étant appliqué aux émissions des ménages les plus riches, tandis que d'autres suggèrent la mise en place d'une taxe sur les placements financiers carbonés. Ces deux dernières mesures poseraient de vrais problèmes de mise en œuvre pratique¹³.

13. Quant à la proposition dite d'ISF climatique qui figurait dans le programme d'Anne Hidalgo pour l'élection présidentielle, il ne s'agissait pas d'une taxe environnementale mais d'un impôt sur la fortune dont le rendement serait affecté à des dépenses environnementales.

Notons que l'instauration d'un mécanisme européen d'ajustement carbone, une *taxe carbone aux frontières*, faisant peser un prix global du carbone sur tous les biens (même importés) aurait au niveau national, pour chacun des pays européens, un impact essentiellement neutre, voire progressif (Feindt *et al.*, 2021 ; Malliet *et al.*, 2021), ce qui contribuerait à faire diminuer ce sentiment d'injustice fiscale solidement enraciné en France.

Références

- Abrell J., Kosch M. et Rausch, S., 2022, « How effective was the UK carbon tax? A machine learning approach to policy evaluation », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 112, 102589.
- Andersson J. J., 2019, « Carbon taxes and CO2 emissions: Sweden as a case study », *American Economic Journal: Economic Policy*, vol. 11, n° 4, pp. 1-30.
- Aubert D. et Chiroleu-Assouline M., 2019, « Environmental tax reform and income distribution with imperfect heterogeneous labour markets », *European Economic Review*, n° 116, pp. 60-82.
- Baranzini A. et Carattini S., 2017, « Effectiveness, earmarking and labeling: testing the acceptability of carbon taxes with survey data », *Environmental Economics and Policy Studies*, vol. 19, n° 1, pp. 197-227.
- Baranzini A., Van den Bergh J. C., Carattini S., Howarth R. B., Padilla E. et Roca J., 2017, « Carbon pricing in climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 8, n° 4, p. 462.
- Beiser-McGrath L. F. et Bernauer T., 2019, « Could revenue recycling make effective carbon taxation politically feasible? », *Science Advances*, vol. 5, n° 9, eaax3323.
- 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*, n° 124, pp. 81-94.
- Binet M. E., Carlevaro F. et Paul M., 2014, « Estimation of residential water demand with imperfect price perception », *Environmental and Resource Economics*, vol. 59, n° 4, pp. 561-581.
- Blanco M., Ferasso M. et Bares L., 2021, « Évaluation des effets sur la production régionale et l'emploi en Espagne de la Stratégie de l'énergie renouvelable 2011-2020 », *Sustainability*, vol. 13, n° 6, p. 3587.
- Bornstein N. et Lanz B., 2008, « Voting on the environment: Price or ideology? Evidence from Swiss referendums », *Ecological Economics*, vol. 67, n° 3, pp. 430-440.

- Boyce J. K., 2021, « Carbon pricing and climate justice », In *The Routledge Handbook of the Political Economy of the Environment* (pp. 243-257), Routledge.
- Brännlund R. et Persson L., 2012, « To tax, or not to tax: preferences for climate policy attributes », *Climate Policy*, vol. 12, n° 6, pp. 704-721.
- Bristow A. L., Wardman M., Zanni A. M. et Chintakayala P. K., 2010, « Public acceptability of personal carbon trading and carbon tax », *Ecological Economics*, vol. 69, n° 9, pp. 1824-1837.
- Budolfson M., Dennig F., Erickson F., Feindt S., Ferranna M., Fleurbaey M. et Zuber S., 2021a, « Protecting the poor with a carbon tax and equal per capita dividend », *Nature Climate Change*, vol. 11, n° 12, pp. 1025-1026.
- Budolfson M., Dennig F., Erickson F., Feindt S., Ferranna M., Fleurbaey M., et Zuber S., 2021b, « Climate action with revenue recycling has benefits for poverty, inequality and well-being », *Nature Climate Change*, pp. 1111-1116.
- Callan T., Lyons S., Scott S., Tol R. S. et Verde S., 2009, « The distributional implications of a carbon tax in Ireland », *Energy Policy*, vol. 37, n° 2, pp. 407-412.
- Campbell S. et Coenen L., 2017, « Transitioning beyond coal: Lessons from the structural renewal of Europe's old industrial regions », In *CCEP Working Papers. Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy*. The Australian National University.
- Carattini S., Baranzini A., Thalmann P., Varone F. et Vöhringer F., 2017, « Green taxes in a post-Paris world: are millions of nays inevitable? », *Environmental and Resource Economics*, vol. 68, n° 1, pp. 97-128.
- Carattini S., Carvalho M. et Fankhauser S., 2018, « Overcoming public resistance to carbon taxes », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 9, n° 5, p. e531.
- Carattini S., Kallbekken S. et Orlov A., 2019, « How to win public support for a global carbon tax », *Nature*, n° 565, pp. 289-291.
- Castellanos K. A. et Heutel G., 2019, « Unemployment, labor mobility, and climate policy », *NBER Working paper*, n° w25797, National Bureau of Economic Research.
- Cavalcanti T., Hasna Z. et Santos C., 2021, « Climate Change Mitigation Policies: Aggregate and Distributional Effects », *Cambridge Working Paper in Economics*, n° 2122.
- Chancel L., Piketty T., Saez E., Zucman G. et al., 2021, *World Inequality Report 2022*, World Inequality Lab.
- Chiroleu-Assouline M., 2001, « Le double dividende. Les approches théoriques », *Revue française d'économie*, vol. 16, n° 2, pp. 119-147.
- Chiroleu-Assouline M., 2015, « La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écologique ? », *Revue de l'OFCE*, n° 139, pp. 129-165.

- Chiroleu-Assouline M. et Fodha M., 2005, « Double dividend with involuntary unemployment: efficiency and intergenerational equity », *Environmental and Resource Economics*, vol. 31, n° 4, pp. 389-403.
- Chiroleu-Assouline M. et Fodha M., 2009, « Double dividend and distribution of welfare: advanced results and empirical considerations », *Économie internationale*, n° 4, pp. 91-107.
- Chiroleu-Assouline M. et Fodha M., 2011, « Environmental tax and the distribution of income among heterogeneous workers », *Annals of Economics and Statistics/Annales d'Économie et de Statistique*, 71-92.
- Chiroleu-Assouline M. et Fodha M., 2014, « From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms », *European Economic Review*, n° 69, pp. 126-142.
- Clinch J. P. et Dunne L., 2006, « Environmental tax reform: an assessment of social responses in Ireland », *Energy Policy*, vol. 34, n° 8, pp. 950-959.
- Combet E., Ghersi F., Hourcade J. C. et Thubin C., 2010, « La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité », *Revue française d'économie*, vol. 25, n° 2, pp. 59-91.
- 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*, n° 6(S1), S169-S208.
- Davidovic D. et Harring N., 2020, « Exploring the cross-national variation in public support for climate policies in Europe: The role of quality of government and trust », *Energy Research & Social Science*, n° 70, 101785.
- Davidovic D., Harring N. et Jagers S. C., 2020, « The contingent effects of environmental concern and ideology: institutional context and people's willingness to pay environmental taxes », *Environmental Politics*, vol. 29, n° 4, pp. 674-696.
- Delalande N., 2014, « Le retour des révoltes fiscales ? », *Pouvoirs*, n° 4, pp. 15-25.
- Dissou Y. et Siddiqui M. S., 2014, « Can carbon taxes be progressive? », *Energy Economics*, n° 42, pp. 88-100.
- Douenne T., 2020, « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a French policy », *The Energy Journal*, vol. 41, n° 3.
- Douenne T. et Fabre A., 2020, « French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies », *Ecological Economics*, n° 169, 106496.
- Douenne T. et Fabre A., 2022, « Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion », *American Economic Journal: Economic Policy*, vol. 14, n° 1, pp. 81-110.
- Drews S. et Van den Bergh J. C., 2016, « What explains public support for climate policies? A review of empirical and experimental studies », *Climate Policy*, vol. 16, n° 7, pp. 855-876.

- Feindt S., Kornek U., Labeaga J. M., Sterner T. et Ward H., 2021, « Understanding regressivity: Challenges and opportunities of European carbon pricing », *Energy Economics*, n° 103, 105550.
- Feserfeld L. P., 2020, « The Effects of Policy Design Complexity on Public Support for Climate Policy », *Available at SSRN 3708920*.
- Fischer C. et Pizer W. A., 2019, « Horizontal equity effects in energy regulation », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, n° 6(S1), S209-S237.
- Fullerton D. et Monti H., 2013, « Can pollution tax rebates protect low-wage earners? », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 66, n° 3, pp. 539-553.
- Gevrek Z. E. et Uyduranoglu A., 2015, « Public preferences for carbon tax attributes », *Ecological Economics*, n° 118, pp. 186-197.
- Goulder L. H., 1995, « Environmental taxation and the double dividend: A reader's guide », *International Tax and Public Finance*, vol. 2, n° 2, pp. 157-183.
- Goulder L. H. et Parry I. W., 2008, « Instrument Choice in Environmental Policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2, n° 2, pp. 152-174.
- Jagers S. C., Martinsson J. et Matti S., 2019, « The impact of compensatory measures on public support for carbon taxation: An experimental study in Sweden », *Climate policy*, vol. 19, n° 2, pp. 147-160.
- Jagers S. C., Lachapelle E., Martinsson J. et Matti S., 2021, « Bridging the ideological gap? How fairness perceptions mediate the effect of revenue recycling on public support for carbon taxes in the United States, Canada and Germany », *Review of Policy Research*, vol. 38, n° 5, pp. 529-554.
- Hafstead M. A. et Williams III R. C., 2018, « Unemployment and environmental regulation in general equilibrium », *Journal of Public Economics*, n° 160, pp. 50-65.
- Hammar H. et Jagers S. C., 2006, « Can trust in politicians explain individuals' support for climate policy? The case of CO₂ tax », *Climate Policy*, vol. 5, n° 6, pp. 613-625.
- Hammar H. et Jagers S. C., 2007, « What is a fair CO₂ tax increase? On fair emission reductions in the transport sector », *Ecological Economics*, vol. 61, n° 2-3, pp. 377-387.
- Harrison K., 2013, « The Political Economy of British Columbia's Carbon Tax », *OECD Environment Working Papers*, n° 63, OECD Publishing.
- Hille E. et Möbius P., 2019, « Do energy prices affect employment? Decomposed international evidence », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 96, pp. 1-21.
- Huber R. A. et Wicki M., 2021, « What explains citizen support for transport policy? the roles of policy design, trust in government and proximity among Swiss citizens », *Energy Research & Social Science*, n° 75, 101973.

- Hsu S. L., Walters J. et Purgas A., 2008, « Pollution tax heuristics: An empirical study of willingness to pay higher gasoline taxes », *Energy Policy*, vol. 36, n° 9, pp. 3612-3619.
- I4CE, 2021, *Les comptes mondiaux du carbone en 2021*. <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2021/10/Comptes-mondiaux-du-carbone-2021-VF.pdf> (consulté le 02/01/2022).
- IRENA et ILO, 2021, *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, International Renewable Energy Agency, International Labour Organization, Abu Dhabi, Geneva.
- Jetten J., Mols F. et Selvanathan H. P., 2020, « How economic inequality fuels the rise and persistence of the Yellow Vest movement », *International Review of Social Psychology*, vol. 33, n° 1.
- Jacobs L., Quack L. et Mechtel M., 2021, « Distributional Effects of Carbon Pricing by Transport Fuel Taxation », *Working Paper Series in Economics*, n° 405. University of Lüneburg.
- Kallbekken S. et Aasen M., 2010, « The demand for earmarking: Results from a focus group study », *Ecological Economics*, vol. 69, n° 11, pp. 2183-2190.
- Kallbekken S., Kroll S. et Cherry T. L., 2011, « Do you not like Pigou, or do you not understand him? Tax aversion and revenue recycling in the lab », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 62, n° 1, pp. 53-64.
- Kirchner M., Sommer M., Kratena K., Kletzan-Slamannig D. et Kettner-Marx C., 2019, « CO₂ taxes, equity and the double dividend–Macroeconomic model simulations for Austria », *Energy Policy*, n° 126, 295-314.
- Klenert D., Mattauch L., Combet E., Edenhofer O., Hepburn C., Rafaty R. et Stern N., 2018, « Making carbon pricing work for citizens », *Nature Climate Change*, vol. 8, n° 8, pp. 669-677.
- Klok J., Larsen A., Dahl A. et Hansen K., 2006, « Ecological tax reform in Denmark: history and social acceptability », *Energy Policy*, vol. 34, n° 8, pp. 905-916.
- Laurent E., 2011, « Issues in environmental justice within the European Union », *Ecological Economics*, vol. 70, n° 11, pp. 1846-1853.
- Laurent É. et Le Cacheux J., 2011, « Réforme de la fiscalité du carbone dans l'Union européenne », *Revue de l'OFCE*, n°116, pp. 393-408.
- Levi S., 2021, « Why hate carbon taxes? machine learning evidence on the roles of personal responsibility, trust, revenue recycling, and other factors across 23 European countries », *Energy Research & Social Science*, n° 73, 101883.
- Levi S., Flachsland C. et Jakob M., 2020, « Political economy determinants of carbon pricing », *Global Environmental Politics*, vol. 20, n° 2, pp. 128-156.

- Maestre-Andrés S., Drews S. et van den Bergh J., 2019, « Perceived fairness and public acceptability of carbon pricing: a review of the literature », *Climate Policy*, vol. 19, n° 9, pp. 1186-1204.
- Maillet P., Haalebos R. et Nicolas E., 2019, *La fiscalité carbone aux frontières : ses impacts redistributifs sur le revenu des ménages français*, ADEME.
- Marin G. et Vona F., 2019, « Climate policies and skill-biased employment dynamics: Evidence from EU countries », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 98, 102253.
- Marin G. et Vona F., 2021, « The impact of energy prices on socioeconomic and environmental performance: Evidence from French manufacturing establishments, 1997–2015 », *European Economic Review*, n° 135, 103739.
- Markkanen S. et Anger-Kraavi A., 2019, « Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality », *Climate Policy*, vol. 19, n° 7, pp. 827-844.
- Martin R., De Preux L. B. et Wagner U. J., 2014, « The impact of a carbon tax on manufacturing: Evidence from microdata », *Journal of Public Economics*, n° 117, pp. 1-14.
- Mathur A. et Morris A. C., 2014, « Distributional effects of a carbon tax in broader US fiscal reform », *Energy Policy*, n° 66, 326-334.
- 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*, n° 104, 105661.
- Metcalf G. E., 1999, « A distributional analysis of green tax reforms », *National tax journal*, vol. 52, n° 4, pp. 655-681.
- Metcalf G. E., 2009, « Tax policies for low-carbon technologies », *National Tax Journal*, vol. 62, n° 3, pp. 519-533.
- Metcalf G. E., 2021, « Carbon Taxes in Theory and Practice », *Annual Review of Resource Economics*, n° 13, pp. 245-265.
- Mehleb R. I., Kallis G. et Zografos C., 2021, « A discourse analysis of yellow-vest resistance against carbon taxes », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, n° 40, pp. 382-394.
- Merten M. J., Becker A. C. et Matthies E., 2022, « What explains German consumers' acceptance of carbon pricing? Examining the roles of pro-environmental orientation and consumer coping style », *Energy Research & Social Science*, n° 85, 102367.
- Metcalf G. E., 2009, « Market-based policy options to control US greenhouse gas emissions », *Journal of Economic perspectives*, vol. 23, n° 2, pp. 5-27.
- Mideksa T. K., 2021, « Pricing for a Cooler Planet: An Empirical Analysis of the Effect of Taxing Carbon », *CESifo Working Paper*, n° 9172.

- Natalini D., Bravo G. et Newman E., 2020, « Fuel riots: definition, evidence and policy implications for a new type of energy-related conflict », *Energy Policy*, n° 147, 111885.
- Nordhaus W. D., 1994, « *Managing the global commons: the economics of climate change* (Vol. 31), Cambridge, MA: MIT Press.
- OXFAM, 2021, *Les inégalités des émissions en 2030*, Paris.
- Owen A. et Barrett J., 2020, « Reducing inequality resulting from UK low-carbon policy », *Climate Policy*, vol. 20, n° 10, pp. 1193-1208.
- Pai S., Emmerling J., Drouet L., Zerriffi H. et Jewell J., 2021, « Meeting well-below 2° C target would increase energy sector jobs globally », *One Earth*, vol. 4, n° 7, pp. 1026-1036.
- Popp D., Vona F., Marin G. et Chen Z., 2020, « The employment impact of green fiscal push: evidence from the American Recovery Act », *NBER working paper*, n° 27321, National Bureau of Economic Research.
- Poterba J. M., 1991, « Is the gasoline tax regressive? », *Tax policy and the economy*, n° 5, pp. 145-164.
- Povitkina M., Jagers S. C., Matti S. et Martinsson J., 2021, « Why are carbon taxes unfair? Disentangling public perceptions of fairness », *Global Environmental Change*, n° 70, 102356.
- 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*, n° 33, S20-S33.
- Raymond L., 2019, « Policy perspective: Building political support for carbon pricing. Lessons from cap-and-trade policies », *Energy Policy*, n° 134, 110986.
- Raymond L., 2020, « Carbon pricing and economic populism: the case of Ontario », *Climate Policy*, vol. 20, n° 9, pp. 1127-1140.
- Reaños M. A. T., 2021, « Fuel for poverty: A model for the relationship between income and fuel poverty. Evidence from Irish microdata », *Energy Policy*, n° 156, 112444.
- Reaños M. A. T. et Lynch M. Á., 2022, « Measuring carbon tax incidence using a fully flexible demand system. Vertical and horizontal effects using Irish data », *Energy Policy*, n° 160, 112682.
- Rinscheid A. et Wüstenhagen R., 2019, « Germany's decision to phase out coal by 2038 lags behind citizens' timing preferences », *Nature Energy*, vol. 4, n° 10, pp. 856-863.
- Rivers N. et Schaufele B., 2015, « Salience of carbon taxes in the gasoline market », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 74, pp. 23-36.
- Rhodes E., Axsen J. et Jaccard M., 2017, « Exploring citizen support for different types of climate policy », *Ecological Economics*, n° 137, pp. 56-69.

- Ruiz N. et Trannoy A., 2008, « Le caractère régressif des taxes indirectes : les enseignements d'un modèle de microsimulation », *Économie et Statistique*, n° 413(1), pp. 21-46.
- Sallee J. M., 2019, « Pigou creates losers: On the implausibility of achieving Pareto improvements from efficiency-enhancing policies », *NBER working paper*, n° w25831, National Bureau of Economic Research.
- Schaffer L. M., 2021, « The politics of green taxation », in *Handbook on the Politics of Taxation*, Edward Elgar Publishing.
- Schaffer L. M., Oehl B. et Bernauer T., 2021, « Are policymakers responsive to public demand in climate politics? », *Journal of Public Policy*, pp. 1-29.
- Sharma A. et Banerjee R., 2021, « Framework to analyze the spatial distribution of the labor impacts of clean energy transitions », *Energy Policy*, n° 150, 112158.
- Simard L., 2021, « L'acceptabilité sociale : trajectoire d'une nouvelle norme d'action publique », *Politique et Sociétés*, vol. 40, n° 3, pp. 29-62.
- Sommer S., Mattauch L. et Pahle M., 2020, « Supporting carbon taxes: The role of fairness », *INET Oxford Working Paper*, n° 2020-23.
- Stavins R. N., 2020, « The future of US carbon-pricing policy », *Environmental and Energy Policy and the Economy*, vol. 1, n° 1, pp. 8-64.
- Stern N. et Stiglitz J. E., 2017, *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*, Washington, DC: World Bank.
- Stiglitz J. E., 2019, « Addressing Climate Change through Price and Non-Price Interventions », *European Economic Review*, n° 119, pp. 594-612.
- Tilly C., 1986, *La France conteste, de 1600 à nos jours*, Paris, Fayard.
- Umit R. et Schaffer L. M., 2020, « Attitudes towards carbon taxes across Europe: The role of perceived uncertainty and self-interest », *Energy Policy*, n° 140, 111385.
- Van den Bergh J. et Botzen W., 2020, « Low-carbon transition is improbable without carbon pricing », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, n° 38, pp. 23219-23220.
- Van der Ploeg F., Rezai A. et Tovar M., 2021, « Gathering support for green tax reform: Evidence from German household surveys », *European Economic Review*, n° 141, 103966.
- Vona F., 2019, « Job losses and political acceptability of climate policies: why the 'job-killing' argument is so persistent and how to overturn it », *Climate Policy*, vol. 19, n° 4, pp. 524-532.
- Vona F., 2021, « Managing the distributional effects of environmental and climate policies: The narrow path for a triple dividend », *OECD Environment Working Paper*, n° 188.
- Weitzman M. L., 1974, « Prices vs. quantities », *The Review of Economic Studies*, vol. 41, n° 4, pp. 477-491.

- Weitzman M. L., 2014, « Can negotiating a uniform carbon price help to internalize the global warming externality? », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 1, n° 1/2), pp. 29-49.
- Weitzman M. L., 2017, « Voting on prices vs. voting on quantities in a World Climate Assembly », *Research in Economics*, vol. 71, n° 2, pp. 199-211.
- Wier M., Birr-Pedersen K., Jacobsen H. K. et Klok J., 2005, « Are CO₂ taxes regressive? Evidence from the Danish experience », *Ecological Economics*, vol. 52, n° 2, pp. 239-251.
- Williams III R. C., Gordon H., Burtraw D., Carbone J. C. et Morgenstern R. D., 2015, « The initial incidence of a carbon tax across income groups », *National Tax Journal*, vol. 68, n° 1, pp. 195-213.
- World Bank, 2021, *State and Trends of Carbon Pricing 2021*, Washington, DC: World Bank.
- Yamazaki A., 2017, « Jobs and climate policy: Evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 83, pp. 197-216.
- Yip C. M., 2018, « On the labor market consequences of environmental taxes », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 89, pp. 136-152.

LA FISCALITÉ SUR L'ÉNERGIE PEUT-ELLE DEVENIR ACCEPTABLE ?¹

Jonas Anne-Braun

Ministère de l'Économie, des finances et de la relance

Tristan Guesdon

École normale supérieure

La fiscalité énergétique et son volet incitatif, la composante carbone, se heurtent en France à une faible acceptation de la part des contribuables. Cet article propose une synthèse des aspects les plus saillants du problème. L'impopularité historique des impôts indirects et la nouveauté du rôle incitatif de l'impôt à l'échelle mondiale, l'existence d'effets distributifs qui affectent des « prisonniers énergétiques », et l'absence de dispositif de gouvernance du « recyclage » des recettes de la taxe forment trois explications bien identifiées à cette mauvaise acceptabilité. Cependant, une fiscalité énergétique mieux acceptée implique de faire des choix de nature politique : choix d'un objectif plus ou moins exigeant de sobriété énergétique en plus d'un objectif de décarbonation, choix du type d'affectation des recettes de la fiscalité environnementale, et choix du degré d'uniformité du prix du carbone entre secteurs et produits. L'article conclut que l'une des principales conditions d'acceptabilité réside toutefois non dans la fiscalité elle-même, mais dans l'émergence de solutions énergétiques alternatives et accessibles, qui appelle davantage que le recours au seul outil fiscal.

Mots clés : énergie, fiscalité, taxe carbone, acceptabilité.

Peu d'instruments de politique environnementale semblent susciter autant de résistances que la *fiscalité environnementale*. Les deux mouvements sociaux les plus inhabituels de la décennie 2010 en

1. Cet article reprend librement les éléments d'un rapport écrit par les auteurs pour le Conseil des prélèvements obligatoires en 2021 sur le consentement à la fiscalité environnementale. Il n'engage naturellement que ses auteurs.

France, celui des Bonnets rouges de 2013 et celui des Gilets jaunes de 2018 ont mis en œuvre un registre de mobilisation inédit précisément dans le but de bloquer des taxes environnementales, l'écotaxe poids lourds dans le premier cas et les taxes entrant dans le prix des carburants à la pompe dans le second.

La fiscalité environnementale ne saurait toutefois être envisagée comme un bloc homogène. Alors que l'expression renvoie intuitivement à des impôts comme la composante carbone (ou contribution climat-énergie, CCE), *explicitement* conçus pour inciter à réduire des atteintes à l'environnement, la définition la plus courante, celle d'Eurostat et de l'OCDE, retient le critère plus large de l'assiette : « *est considérée comme une taxe environnementale une taxe dont l'assiette est une unité physique (ou une approximation d'une unité physique) de quelque chose qui a un impact spécifique et avéré sur l'environnement et qui est considéré comme une taxe pour le système européen de comptes* »². Ainsi, la taxe sur les certificats d'immatriculation est, au même titre que les accises sur l'énergie et le malus automobile, comprise comme de la fiscalité environnementale. Au sein de cet ensemble, la fiscalité assise sur l'énergie est toutefois prépondérante, puisque 84 % des recettes de la fiscalité environnementale en France en 2019 proviennent de la fiscalité énergétique, pour un montant de 47,1 milliard d'euros dont 31,4 milliards pour la seule taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE).

Outre cette prépondérance budgétaire, il apparaît que la fiscalité énergétique est également celle qui concentre le plus d'enjeux d'acceptabilité politique : les taxes pesant sur le prix des carburants, composante carbone en tête, alimentent bien davantage la défiance – comme le montre l'épisode de hausse des prix pétroliers du quatrième trimestre 2021 et les inquiétudes qu'il a déclenchées – que d'autres dispositifs fiscaux hors-énergie comme les redevances pour l'eau ou la taxe d'enlèvement des ordures ménagères, alors même que le rendement de cette dernière est en 2017 équivalent à celui de la composante carbone avec 6,8 milliards d'euros contre 6,4.

Le déficit d'acceptation populaire des taxes sur l'énergie appelle d'autant plus l'intérêt de l'observateur qu'il est en contradiction avec le principal outil promu par les économistes pour lutter contre les émis-

2. Règlement (UE) n ° 691/2011 du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2011 relatif aux comptes économiques européens de l'environnement.

sions de gaz à effets de serre : le prix du carbone, dont la taxe carbone est l'une des deux grandes déclinaisons avec les systèmes d'échange de quotas d'émissions. Dans la partie du rapport sur les « grands défis économiques » qu'ils consacrent au changement climatique, Gollier et Reguant (2021) se montrent conscients de ce hiatus, estimant d'une part que « *le renforcement de la tarification du carbone est un pas important pour accroître notre ambition en matière d'atténuation du changement climatique* », tout en reconnaissant d'autre part que « *même si la taxe carbone précise clairement ses coûts et son incidence, il subsiste une forte opposition à cette option* ».

Le but de cet article est de proposer un double état des lieux de l'acceptation de la fiscalité énergétique par les contribuables. La première partie identifie trois sources de blocage de la fiscalité énergétique qui ont été à l'œuvre en France et à l'étranger, pour souligner que celles-ci sont bien documentées et que le constat de leur existence est partagé. La seconde partie fait quant à elle état de trois choix auxquels le décideur public est confronté en matière d'acceptabilité de la fiscalité énergétique, pour lesquels aucune solution clé-en-main n'est facilement identifiable mais qui, posés clairement, contribuent à clarifier l'espace de décision en jeu. La conclusion souligne toutefois l'importance de l'émergence d'alternatives accessibles aux usages que la puissance publique se propose de taxer. Ainsi, les politiques environnementales non-fiscales de nature à faire émerger ces alternatives ont un rôle à jouer pour l'acceptation de la fiscalité environnementale. Cette dernière constitue un outil nécessaire mais non suffisant pour la transition énergétique.

1. Bilan de la fiscalité énergétique en France : trois blocages

Le gel de la composante carbone des taxes intérieures de consommation (TIC) à son niveau de 2018 (44,6€/tCO₂) depuis le mouvement des Gilets jaunes constitue un coup d'arrêt majeur aux ambitions des pouvoirs publics en matière de fiscalité énergétique incitative. Trois ans après cette décision de gel, plusieurs facteurs de blocage ont été clairement identifiés et expliquent pourquoi 2022 n'est finalement pas l'année d'un passage à une taxe carbone de 86,2€/tCO₂ comme prévu dans le projet de loi de finances pour 2018.

1.1. La fiscalité indirecte est historiquement impopulaire et la fiscalité incitative n'est pas encore un outil compris et accepté

Les impôts et droits indirects, parmi lesquels les accises sur l'énergie occupent aujourd'hui la deuxième place après la TVA, ont, bien davantage que les impôts directs, une longue histoire d'impopularité en France. Les témoignages de cette impopularité remontent au moins au XVIII^e siècle : les spécialistes de l'histoire fiscale notent qu'à cette époque « *les impôts exigés par l'État, qu'ils soient indirects (sur les biens de consommation, les transactions, etc.) ou directs (sur les revenus et propriétés), sont particulièrement impopulaires. Parmi eux, les taxes sur la consommation font l'objet des critiques les plus virulentes. La gabelle (taxe sur le sel), les aides (droits sur les boissons) et les traites (taxes sur les échanges) restreignent la circulation et la consommation des produits, ce qui explique notamment le jugement négatif des physiocrates à leur égard* » (Delalande et Spire, 2010). Cette impopularité se perpétue aux XIX^e et XX^e siècles, indiquée notamment par la mauvaise image dont pâtissent les agents des contributions indirectes, auxquels leurs visites intrusives chez les commerçants valent le surnom de « *rats de cave* » (Delalande, 2011). La création de la taxe intérieure pétrolière en 1929 s'inscrit dans la continuité des autres impôts indirects puisqu'elle est justifiée entre autres par le déclin du rendement de l'impôt sur le sel. La généalogie de l'impôt sur l'énergie met en évidence sa filiation avec les impôts de rendement. Des protestations d'automobilistes ont lieu dès 1933 contre ces nouvelles taxes, à Lille et à Épinal. Ainsi, l'impopularité actuelle des droits indirects, en particulier sur l'énergie, n'est pas un phénomène inédit, mais renvoie à un motif de contestation connu et ancien.

En outre, l'attribution d'un rôle incitatif à la fiscalité énergétique, par opposition à son rôle de rendement, est une idée récente à l'échelle de l'histoire longue puisqu'elle est vieille d'un siècle seulement, remontant à Pigou et à son ouvrage de 1920 *The Economics of Welfare*. C'est probablement l'une des raisons (sans être la plus importante) pour lesquelles elle est encore mal comprise des contribuables (Kallbekken *et al.*, 2011), et suscite des réticences accrues visibles à l'échelle internationale. Par analogie, le principe d'une fiscalité sur le revenu emplissant un objectif de justice sociale et de redistribution est apparu dès le XVIII^e siècle mais n'est devenu une réalité acceptée que plus d'un siècle et demi plus tard dans le monde (Delalande, 2011).

Au cours des trois décennies passées, des tentatives d'adapter les systèmes socio-fiscaux en vue de (i) prélever des ressources supplémentaires

taires sur l'énergie ou (ii) d'inciter à une moindre utilisation des ressources énergétiques carbonées se sont heurtées à des oppositions de différentes natures dans des territoires et dans des configurations variées à travers le monde (graphique 1). Dans au moins sept pays développés autres que la France, sans que cela ne constitue en aucune façon une liste exhaustive, des initiatives gouvernementales de hausses des prélèvements obligatoires affectant l'énergie ont provoqué des mouvements d'opposition qui ont pu faire échouer les hausses de la fiscalité verte, faire abandonner les velléités de poursuivre plus avant de telles hausses ou bien même modifier durablement les équilibres partisans :

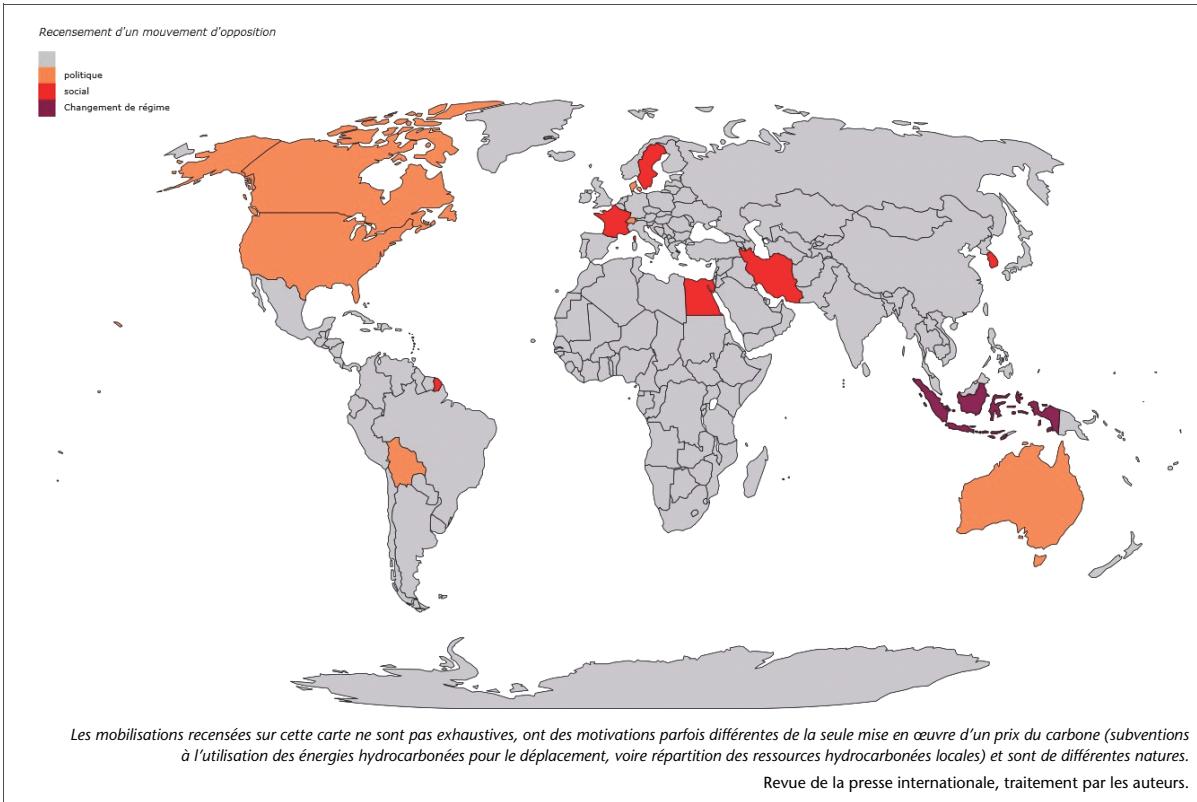
- aux États-Unis, un projet de taxe assise sur les contenus énergétiques (la *BTU tax*) avait été rejeté par le Sénat en 1993 et avait significativement affecté les scores électoraux du parti démocrate aux élections législatives de 1994. Plus récemment, dans l'État de Washington, les électeurs ont rejeté par référendum en 2018 une initiative qui visait à instaurer une redevance sur la part carbone des combustibles fossiles commercialisés dans leur État ;
- au Canada, après une décennie 2010 conflictuelle sur le sujet de l'instauration d'un prix du carbone, et le maintien au pouvoir des conservateurs dont le slogan « Axe the taxe » était l'un des principaux éléments de rassemblement, la mise en place du « filet de sécurité » fédéral de 2018 a provoqué un conflit entre le gouvernement fédéral et certaines provinces comme l'Ontario et l'Alberta ;
- en Australie, le dispositif de taxation du carbone mis en œuvre entre 2012 et 2014 a très vite été au centre de vives tensions politiques et s'est révélé impopulaire auprès de l'opinion publique, suscitant sa suppression par le Parlement en 2014 et la mise en œuvre, par le gouvernement conservateur, d'une politique résumée par le slogan « technology, not taxes » ;
- en Corée du Sud, lorsque le gouvernement a annoncé en juillet 2007 une modification de la taxation des carburants, avec pour objectif une convergence des prix du gasoil à 85 % des prix de l'essence, les transporteurs routiers et leurs syndicats s'y sont opposés et le gouvernement a dû modifier son projet de loi et y inclure une mesure d'accompagnement spécifique de compensation pour les transporteurs routiers et depuis lors, le gouvernement n'a jamais été en mesure de revenir sur cette subvention ;

- en Suisse, une proposition d'augmentation du taux de taxation du CO₂ a été soumise au référendum en juin 2021. Le non l'a emporté à 51,6 % ;
- au Danemark, la fin de la coalition menée par les socialistes, en 2001, a coïncidé avec des difficultés à réformer le système fiscal et la proposition portée par cette coalition d'augmenter la fiscalité environnementale. Un gouvernement conservateur a alors été formé, ce qui n'était pas arrivé dans ce pays depuis 1975 ;
- en Suède, en 2018, ont eu lieu des manifestations d'opposition à la taxation des carburants – les *Bensinupproret*. Celles-ci étaient motivées par des causes assez proches de celles mises en avant par les Gilets jaunes français : hausse des prix des carburants à l'été 2018, dépendance aux énergies fossiles pour certains ménages, en particulier dans les zones rurales peu denses en déclin démographique, et sentiment de délaissement par le gouvernement central. Si ces manifestations n'ont pas eu pour conséquence une baisse des taxes sur les carburants, elles paraissent symptomatiques d'une inflexion en Suède : désormais pour les partis progressistes suédois, il ne s'agit plus tant d'augmenter le taux de taxation que de le maintenir.

Ces oppositions ne se sont pas uniquement manifestées après un relèvement de la taxation de l'énergie mais aussi à la suite des modifications du niveau de subventionnement des produits énergétiques carbonés et qui doivent être considérées de la même manière que les hausses des impôts, comme le souligne le think tank français I4CE (Postic *et al.*, 2019). De tels mouvements d'opposition consécutifs à des baisses des subventions ont été observés dans des pays aussi divers que l'Indonésie (1998 et fréquemment depuis cette date), l'Égypte (en particulier après le Printemps arabe en 2011) et de manière très singulière dans des pays, comme la Bolivie (2005) ou l'Iran (à partir de 2010), où les hydrocarbures sont une ressource naturelle et dont la gestion participe de la répartition des richesses nationales.

Ainsi, la contextualisation temporelle et spatiale de la contestation de la fiscalité sur l'énergie fournit un premier élément d'analyse du blocage français : celui-ci n'est pas un cas isolé, reflet d'une énième « exception française » et d'une « ingouvernabilité » des contribuables, mais bien l'expression d'une impopularité de la fiscalité énergétique existant de longue date et partagée à travers le monde.

Graphique 1. Carte des mobilisations récentes face à la fiscalité énergétique dans le monde



1.2. La fiscalité énergétique pèse inégalement sur des contribuables aux options limitées

Un second motif de blocage bien identifié à une hausse de la fiscalité énergétique tient à la différentiation socio-spatiale de ses impacts et à l'existence d'une catégorie de la population particulièrement vulnérable à ces effets et que l'on peut appeler les « prisonniers énergétiques ».

La fiscalité énergétique présente des effets distributifs importants

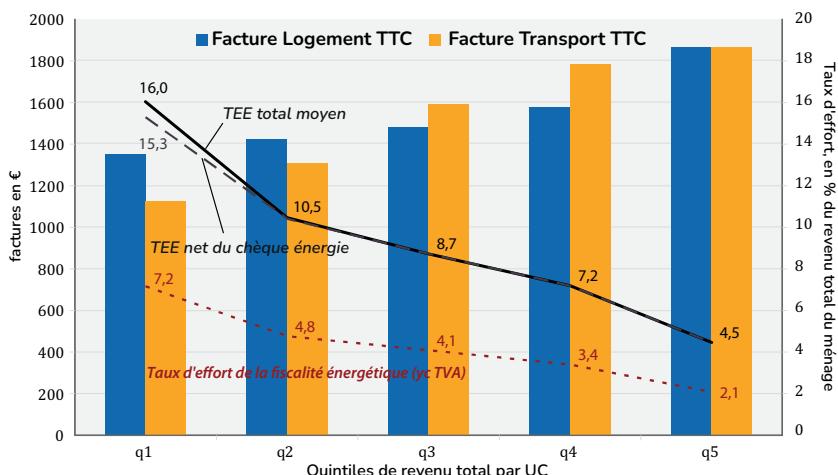
La fiscalité indirecte sur les biens de consommation, et en particulier les droits d'accise sur l'énergie, présente des propriétés *distributives*, qui résultent des différences de consommation des produits taxés selon les ménages considérés. L'énergie n'est en effet pas consommée uniformément selon les contribuables, ce qui entraîne des différences dans le poids de la fiscalité supportée, selon plusieurs variables parfois difficiles à déterminer. Une distinction fondamentale, avancée dans tous les travaux de la décennie passée consacrés à la question, est faite entre effets de distribution *verticaux* et effets de distribution *horizontaux* :

- les effets de distribution verticaux désignent les effets différenciés de la fiscalité énergétique selon le revenu des ménages affectés et posent la question de sa progressivité (verticalité de la distribution des revenus) ;
- les effets de distribution horizontaux sont définis comme l'ensemble des différences de fiscalité énergétique acquittée à niveau de revenu équivalent, mais posent néanmoins des questions d'équité.

Les effets redistributifs verticaux de court terme, c'est-à-dire à structure de la consommation donnée, ont été soigneusement étudiés en France suite au mouvement des Gilets jaunes, en recourant à plusieurs modèles de microsimulation dont les résultats convergent (Berry, 2018 ; Bureau *et al.*, 2019 ; Conseil des prélèvements obligatoires, 2019). L'énergie consommée par les ménages pour le transport et le logement apparaît sans conteste comme un « bien normal de première nécessité » dans la typologie d'Engel : elle augmente en moyenne avec le revenu mais la *part* du revenu qui y est consacrée, appelée « taux d'effort énergétique » ou TEE, diminue. En termes économiques, l'élasticité-prix de la consommation d'énergie taxée est positive mais inférieure à 1. Cela fait de la fiscalité énergétique un ensemble de taxes régressif (ou anti-redistributif) : son taux effectif rapporté au revenu des ménages (« taux d'effort de la fiscalité énergétique ») est plus lourd

pour les ménages modestes, comme l'illustre le graphique 2. Pour les données de consommation de 2017, le taux d'effort de la fiscalité énergétique atteint 7,2 % du revenu total des ménages du premier quintile, contre seulement 2,1 % pour le cinquième quintile (graphique 2).

Graphique 2. **Factures, taux d'effort énergétique et taux d'effort de la fiscalité énergétique selon les revenus du ménage**



Graphique élaboré à partir du modèle Prometheus (MTES-CGDD, actualisé 2017, prix et législation janvier 2019, revenus 2018) par Clément M., A. Godzinski et I. Vincent, 2019, « Les effets économiques de la fiscalité environnementale sur les ménages et les entreprises », Rapport particulier n° 5, Conseil des prélèvements obligatoires.

L'identification de ces effets distributifs verticaux ne doit cependant pas masquer la grande hétérogénéité du taux d'effort énergétique entre ménages de même niveau de vie, qui se traduit par des effets distributifs *horizontaux* de la fiscalité énergétique. Cette hétérogénéité horizontale considérée en bloc est vraisemblablement d'une ampleur supérieure à celle liée au revenu (Hourcade, 2015).

Le lieu de résidence des ménages est généralement avancé comme la principale explication de cette hétérogénéité, en raison de son impact sur les temps de transport et les modes de chauffage. Les TEE classés selon le type d'unité urbaine habitée (CPO, 2019) ou selon une distinction entre grande ville, banlieue et ville isolée (Berry, 2018), montrent un avantage lié à un faible éloignement des grands centres urbains. Les banlieues semblent autant sinon légèrement plus désavantagées que les « villes isolées », même si le constat est incertain dans la mesure où l'approche par unité urbaine peut gommer une hétérogénéité

importante au sein des métropoles. Enfin, il est intéressant de noter que la composante géographique est bien perçue par les contribuables et constitue le facteur le plus souvent mis en avant pour dénoncer le caractère injuste de la fiscalité énergétique. Ainsi, à la question « *pour quelles raisons [une taxe carbone augmentée et compensée forfaitairement] est-t-elle indésirable ?* » posée à un panel de 3 000 enquêtés, la réponse « *elle pénalise les milieux ruraux* » arrive en tête et est endossée par 47 % des répondants (Douenne et Fabre, 2019).

Le type de zone de résidence ne résume toutefois pas toute l'hétérogénéité horizontale de la consommation énergétique, dont la liste des facteurs est potentiellement longue, complexe, et difficile à déterminer : le fait d'habiter un appartement plutôt qu'une maison (Hourcade, 2015), le statut de locataire ou propriétaire, la distance domicile-travail, le nombre d'enfants par foyer (Douenne, 2018), ou le niveau de l'offre de transports en commun sont autant de variables ayant une influence certaine sur les distances parcourues en véhicule individuel et les quantités d'énergie consommées, sans qu'il soit réellement possible d'identifier précisément leurs effets, faute de base de données exhaustives.

Il existe des « prisonniers énergétiques » à qui un alourdissement net de la fiscalité énergétique est insupportable

L'existence simultanée de ces effets distributifs horizontaux et verticaux a amené certains auteurs à mettre en lumière l'existence de « prisonniers énergétiques », une catégorie de contribuables prisonniers, c'est-à-dire hautement dépendants de l'énergie, à la fois par leur position sociale modeste et par leur situation résidentielle contrainte. L'auteur de l'expression, Géraud Guibert, définissait le concept de prisonnier énergétique de la manière suivante en 2014 et le classait comme l'une des principales préoccupations que devraient avoir les décideurs s'agissant de la transition écologique :

« *[les prisonniers énergétiques et écologiques] sont la cohorte de gens qui n'ont pas le choix de leur comportement ou de leurs investissements dans ce domaine [...] et [...] pour lesquels toute une série de politiques qui se limiteraient à des politiques de prix ou à des politiques de fiscalité aboutiraient finalement à une réaction, y compris sur le plan social, qui serait extrêmement vive et extrêmement délicate.*³ ».

3. Colloque « Transition énergétique, quels nouveaux atouts économiques pour sortir de la crise de la croissance ? », 2014.

Ce concept de prisonnier énergétique fait écho aux réflexions d'Emmanuel Combet et Jean-Charles Hourcade dans leur ouvrage commun de 2019, où ceux-ci exposent le « piège » dans lequel se trouvent des ménages contraints par la fiscalité lorsqu'il n'existe pas véritablement d'alternatives aux énergies fossiles pour prolonger leur « manière de vivre », c'est-à-dire par exemple résider dans des territoires périphériques tout en effectuant des migrations pendulaires vers leur lieu de travail, les lieux de garde ou d'éducation de leurs enfants, les lieux où sont dispensés des services, publics comme commerciaux, ou encore des lieux de divertissement (Combet et Hourcade, 2019). Combet décrivait ainsi les mécanismes de ce piège en 2018 : « *aujourd'hui, une heure de travail payée au Smic suffit à financer l'essence pour parcourir 100 km. Il en fallait six en 1960 [...]. En revanche, un logement en centre-ville coûte aujourd'hui sept fois plus cher qu'alors. La baisse du prix de la mobilité, longtemps vécue comme un progrès social, est devenue un piège pour les défavorisés, [...], pour les agriculteurs, les routiers, les pêcheurs, [ceux] dont le mode de vie repose encore sur l'usage quotidien des énergies fossiles⁴* ». Il s'agit d'un piège dans la mesure où, au moins en partie, ces ménages contraints ont été incités à migrer vers les zones éloignées des centre-villes et à opter pour des solutions de chauffage appuyées sur des combustibles fossiles à travers l'acquisition d'équipements (logements, automobiles) dont ils sont désormais dépendants.

Ce caractère de « piège » est associé à une forme d'injustice perçue, comme le rappelait Jean-Charles Hourcade en 2014 : « *taxer quelqu'un qui est piégé dans un endroit pour des raisons qu'il ignore est absolument injuste⁵* ». La crise des Gilets jaunes a amplement validé cette analyse *a posteriori*, en rendant visible politiquement cette catégorie de la population, constituée principalement de travailleurs modestes socialement et excentrés géographiquement⁶, pour laquelle une montée en charge de la fiscalité énergétique débouchait nécessairement sur une érosion de pouvoir d'achat et non sur un moindre recours aux énergies carbonées, dont la demande est presque intégralement inélastique à court terme. Le slogan Gilet jaune « *les pauvres ne polluent pas par plaisir mais pour aller travailler* » (Confavreux, 2019) illustre de manière concise le

4. Emmanuel Combet, « Comment rendre acceptable une fiscalité carbone », tribune dans *Le Monde* du 5 septembre 2018.

5. Colloque « Transition énergétique, quels nouveaux atouts économiques pour sortir de la crise de la croissance ? », 2014.

sentiment d'être prisonnier énergétique, et explique que cette situation soit en contradiction avec l'effet souhaité du « signal-prix » : l'absence d'effet sur les comportements de consommation énergétique implique un effet négatif immédiat sur le pouvoir d'achat.

La centralité du problème des prisonniers énergétiques dans le rejet de la hausse de la composante carbone peut être mesurée dans les sondages. En effet, alors même qu'en 2020, 59 % d'enquêtés français estiment que « *rendre plus chères les énergies qui produisent du CO₂, comme le gaz, l'essence* » n'est pas une mesure acceptable (IPSOS-EDF 2020), les proportions s'inversent radicalement lorsque la mesure est présentée avec des accompagnements spécifiques : lorsque leur est posée la question « *Êtes-vous favorable ou non à un prix croissant du carbone, à condition que cela ne pénalise pas le pouvoir d'achat des ménages des classes moyennes et modestes, et que les recettes de la taxe soient utilisées pour financer des mesures de transition écologique, notamment sur les territoires ?* », 76 % des enquêtés se déclarent « favorables » à une telle mesure (ADEME *et al.*, 2020). Il est donc difficile d'ignorer aujourd'hui que l'hostilité qu'a rencontrée la taxe carbone ne visait pas sa justification qu'est l'action contre le réchauffement climatique mais ses conséquences sociales envers une fraction significative de la population.

1.3. L'utilisation des recettes de la fiscalité énergétique doit faire l'objet d'une gouvernance spécifique

L'absence de communication claire et univoque sur l'utilisation (ou « recyclage ») des recettes de la composante carbone et de la fiscalité énergétique en général est un des éléments d'explication de l'échec de 2018. Plusieurs arguments justifient en effet l'importance particulière que revêt la gestion des recettes des taxes énergétiques incitatives et permettent de repérer les éléments ayant fait défaut dans le projet français.

6. Il n'existe pas à notre connaissance d'estimations du nombre de « prisonniers énergétiques » en France. Il apparaît qu'une telle estimation est rendue complexe par le cumul de facteurs à l'œuvre, mais surtout par le caractère subjectif de la situation : certains ménages dans des situations similaires peuvent avoir des perceptions différentes des contraintes et opportunités qui leurs sont offertes. Nous relevons toutefois que l'enquête Mobilité des Personnes 2018-2019 (SDES, INSEE) permet de dresser à grand trait un majorant du nombre de ménages concernés puisqu'elle compte 4,4 millions de ménages du premier quartile de niveau de vie équipés d'au moins une voiture – ce qui correspond à environ 15 % des ménages en France. Quantifier ce phénomène mériterait une étude économique, sociale et spatiale à part entière et permettrait sans doute de concevoir des politiques publiques mieux ciblées et plus acceptables.

Il y a consensus chez les économistes pour établir que le premier objectif d'une taxe carbone est la création d'un signal-prix capable d'orienter les comportements économiques : c'est l'idée qui préside à l'appellation de taxe pigouvienne ou de taxe incitative souvent attribuée à la fiscalité carbone.

Or l'une des accusations les plus souvent entendues contre la taxe carbone est que celle-ci serait un impôt de rendement déguisé, conçu pour rapporter des ressources à la puissance publique et non pour orienter les comportements. L'étude de Douenne et Fabre (2019) montre qu'« *au-delà des effets distributifs, le principal critère de rejet de la taxe carbone est l'idée que cette politique est « un prétexte pour augmenter les impôts » (43 % des répondants estiment que c'est là une raison pour laquelle cette mesure est indésirable), d'autant plus qu'elle est perçue comme inefficace pour l'environnement* ». Autrement dit, le rôle incitatif de la taxe n'est pas réellement perçu et est accusé de cacher une fonction de rendement.

Dans les faits, il convient de remarquer que sous hypothèse d'une élasticité-prix très faible de la demande de carburants soumis à la taxe carbone, la composante carbone constitue effectivement un impôt de rendement. Il n'existe, d'un strict point de vue économique, pas de différence absolue entre un impôt destiné au rendement et un impôt destiné à modifier les comportements : une taxe intérieure de consommation, même calculée de manière à pénaliser au mieux les externalités, reste un outil à rendement positif tant que son assiette existe. Or, même sans tenir compte spécifiquement de l'existence de groupes de prisonniers énergétiques, la consommation globale de carburants fossiles est de facto faiblement élastique, au moins à court terme. Pour les ménages, cette élasticité de court terme est ainsi estimée entre -0,25 et -0,45 (les ménages réagissent à une hausse de 10% du prix TTC des carburants par une réduction moyenne de consommation comprise entre 2,5 % et 4,5 %) (CPO, 2019). Ainsi, la TICPE, bien qu'elle vise une modification des comportements plus ciblée depuis l'introduction de la composante carbone, comporte dans les faits une fonction de rendement en plus de sa fonction incitative. Le fait de posséder simultanément les deux fonctions est souvent souligné comme étant la contradiction typique des instruments pigouviens, dont l'effet est d'une part de réduire les quantités vendues en décourageant l'offre et la demande, et d'autre part de dégager un rendement tant que ces quantités vendues demeurent non-nulles.

L'accusation de visée de rendement, beaucoup entendue lors du mouvement des Gilets jaunes (« *Marre d'être tondus* » ; « *Assez du racket fiscal. L'écologie a bon dos* », slogans collectés par Confavreux (2019)), peut d'autant moins être démentie par les pouvoirs publics qu'une ambiguïté quant aux finalités recherchées par l'instauration d'une taxe carbone est également à l'œuvre du côté de l'exécutif. En effet, l'exposé des motifs de l'article 9 du *Projet de loi de finances pour 2018*, qui prévoyait une nouvelle trajectoire de hausse pour la composante carbone des taxes intérieures de consommation (TIC), ne mentionne aucune modification des comportements économiques parmi les buts recherchés, mais explique que « *dans un objectif de rendement budgétaire, le présent article tire les conséquences sur les tarifs des TIC, de la trajectoire de la valeur de la tonne de carbone pour la période courant de 2018 à 2020*⁷ ». L'évaluation préalable associée à la mesure reprend cette conception de la taxe carbone, puisque l'orientation des choix de consommation vers des solutions moins carbonées est présentée comme une simple incidence environnementale de la mesure et non comme un des « *objectifs poursuivis par la réforme* », le seul objectif affiché étant de « *fixer les tarifs applicables aux TIC à compter du 1^{er} janvier 2018 afin de continuer à percevoir la ressource afférente*⁸ ». Ainsi, la justification du projet de loi révèle en creux une conception essentiellement axée sur le rendement budgétaire de la taxe, et non l'effet comportemental visé de sa composante carbone. Cette problématique renvoie en outre à la question plus large de la confiance dans les institutions publiques, dont Algan *et al.* (2019) ont montré qu'elle faisait particulièrement défaut au sein de la population soutenant les Gilets jaunes. Le problème socialement sensible de la fiscalité énergétique aurait servi de révélateur à une crise de légitimité du politique en général, explicable notamment par un double sentiment de délaissement et d'impuissance chez les contribuables, n'ayant pas leur mot à dire sur les nouvelles recettes prélevées par un pouvoir éloigné de leurs préoccupations.

De l'existence des deux fonctions d'une taxe pigouvienne, les économistes ont souvent conclu avec optimisme qu'il était possible de créer un « double dividende », c'est-à-dire la conjonction d'un premier bénéfice issu de la réduction des atteintes à l'environnement induites par le signal-prix, et d'un second bénéfice *a priori* plus large, par

7. *Projet de loi de finances 2018*.

8. *Projet de loi de finances 2018*, « Évaluations préalables des articles du projet de loi ».

exemple macroéconomique, permis par une réduction d'autres prélèvements obligatoires, ou par toute autre utilisation économiquement pertinente des recettes nouvelles. Du point de vue de l'acceptation de la fiscalité énergétique par les contribuables, la double fonction d'une taxe incitative comme la taxe carbone représente toutefois plutôt une menace qu'une opportunité : l'accusation d'une visée de rendement pouvant émerger très facilement, l'absence de communication convaincante sur l'utilisation des recettes dégagées est susceptible de détériorer fortement l'acceptation de l'instrument en donnant matière à cette accusation et en laissant prévaloir l'idée que la fonction de rendement est première. Le rôle-clé de la gouvernance de l'utilisation des recettes dans l'acceptation de cette fiscalité a déjà été souligné par plusieurs équipes de recherche (Bristow *et al.*, 2010 ; Klenert *et al.*, 2018), que cette utilisation soit plutôt orientée vers des mécanismes de compensation pour les ménages, du financement de politiques environnementales ou des baisses de prélèvements obligatoires.

Un dispositif de communication politique autour de l'utilisation transparente des recettes est en outre rendu nécessaire par la sensibilité de la popularité de la fiscalité environnementale à des campagnes d'opinion hostiles. C'est la conclusion d'une étude de cas menée sur l'État du Washington aux États-Unis, où une taxe carbone assortie d'un mécanisme de compensation de pouvoir d'achat a été refusée en 2018 par référendum (Anderson *et al.*, 2019). L'étude s'appuie sur une analyse économétrique spatiale des données du vote, et relève que « *les preuves fondées sur les votes réels montrent que [le] soutien [aux projets de taxe carbone compensée] est plutôt superficiel et qu'il peut être facilement renversé par une campagne politique vigoureuse (et souvent négative)* ». Ce constat américain est corroboré par les expériences australienne et suisse, où des campagnes de désinformation, en 2014 pour la première et en 2021 pour la seconde, sont parvenues à retourner l'opinion contre des dispositifs de taxe carbone assortis de compensations en diffusant l'idée, factuellement infondée, que ces dispositifs étaient fiscalement non-neutres et socialement régressifs.

En France, la présentation du Crédit d'impôt compétitivité emploi (CICE) comme constituant une compensation de la taxe carbone en 2014 n'était pas de nature à constituer une réelle gouvernance des recettes, dans la mesure où il n'existant aucun dispositif reliant les deux dans la durée et où les bénéfices de la création du CICE ont manqué de tangibilité immédiate. Plus remarquée a été en revanche la relative simultanéité de la suppression de l'Impôt de solidarité sur la fortune

(ISF), certes remplacée par l'Impôt sur la fortune immobilière (IFI) mais qui est de moindre rendement, et de l'annonce de l'augmentation de la trajectoire de la composante carbone en 2017 : l'accusation de la visée de rendement de la taxe carbone s'est alors doublée d'un sentiment aigu de réorientation de la fiscalité en faveur des contribuables ultra-aisés. L'absence de schéma clair, transparent et socialement justifié pour l'utilisation des recettes de la taxe carbone peut ainsi être jugée comme un élément d'explication primordial de l'échec de 2018.

S'ils posent des problèmes d'une ampleur substantielle, les trois blocages présentés ci-dessus ont néanmoins en commun d'être bien identifiés. Leur intégration par le politique peut donc constituer une forme de consensus sur les buts et les modalités des politiques publiques futures. L'impopularité des impôts énergétiques peut être surmontée, l'existence des prisonniers énergétiques peut être prise en compte à un certain degré dans les politiques de fiscalité environnementale, et une gouvernance des recettes de cette fiscalité peut être mise en place. Néanmoins, il existe au sujet de la fiscalité de l'énergie des dilemmes pour lesquels le consensus semble précisément faire défaut, où des choix politiques doivent être faits, et dont l'existence souligne l'absence de formule magique en matière d'acceptabilité politique.

2. Conditions d'une fiscalité énergétique acceptable : trois choix à opérer

Le décideur politique peut jouer sur plusieurs paramètres dans la conception d'une fiscalité énergétique écologique, qui renvoient à plusieurs choix possibles : choix d'un objectif de sobriété énergétique en plus d'un objectif de décarbonation, choix du type d'affectation des recettes de la fiscalité environnementale et choix du degré d'uniformité du prix du carbone entre secteurs et produits.

2.1. Hausse du prix des énergies ou distorsion des prix relatifs entre sources d'énergie ?

Le premier dilemme concerne la nature même de la fiscalité énergétique souhaitée par les États : la fiscalité énergétique doit-elle être conçue avant tout comme un outil affectant les prix relatifs des sources d'énergie pour créer un basculement, ou bien également comme un outil augmentant les prix de l'énergie dans son ensemble ? La question reflète l'existence d'une articulation nécessaire entre objectif de décarbonation des sources d'énergies et objectif de sobriété énergétique.

Il est souvent souligné que la Suède est un pays pionnier, en raison de la précocité de sa taxe carbone, mise en place à l'occasion du « *green tax shift* » dès 1991. L'exemple suédois peut être invoqué en comparaison avec la France : en 2018, alors que la France fixait le taux de la composante carbone à 44,6€/tCO₂, la Suède passait quant à elle à une tarification non-dérogatoire de 120€/tCO₂, taux élevé permis par une trajectoire très progressive depuis la mise en place de la taxe (CPO, 2019). Outre l'ancienneté de la taxe, il existe une autre explication fondamentale à la capacité de la Suède à atteindre un tel niveau de taxation du carbone : cette montée en puissance de la taxe carbone a été accompagnée dès le départ par une baisse des droits d'accise sur l'énergie et en particulier sur les carburants routiers (Duédal et Grosjean, 2021). Ainsi, les prix à la pompe des carburants pétroliers ont été à un niveau équivalent en Suède et en France au cours des dernières années (1,58€/l en France contre 1,59€/l en Suède pour le SP95 en août 2021⁹). Cet état de fait se retrouve dans les données fournies par l'OCDE sur les taux de taxation effectifs du carbone, dans lesquelles sont pris en considération à la fois les taxes carbone et les autres accises sur carburant, où l'on peut constater que 44 % du prix des émissions routières de carbone liées à l'essence viennent de la taxe carbone en Suède, contre 14 % venant de la composante carbone en France, pour un prix total de 275€/tCO₂ en Suède et de 313€/tCO₂ en France (OCDE, 2019). Pour les usages routiers et industriels, la Suède a fait le pari des biocarburants, dont la fiscalité a été fortement allégée notamment grâce à une exonération de taxe carbone, de sorte que le signal-prix envoyé a été avant tout un signal-prix relatif destiné à permettre le basculement vers cette source d'énergie (Duédal et Grosjean, 2021). De manière générale, il faut toutefois se garder d'attribuer tout le mérite des succès climatiques suédois à la seule fiscalité : parce que les pouvoirs publics y ont été capables de réaliser en amont des investissements verts importants offrant des alternatives concrètes aux consommations carbonées, le signal-prix de la fiscalité a rencontré une meilleure traduction dans les choix des consommateurs, qui ont pu avoir accès aux alternatives non taxées. Le cas des réseaux de chaleur urbaine, qui demandent un investissement public préalable mais permettent de faire des économies collectives considérables, est un bon exemple de cette approche (Pottier, 2016).

9. Commission européenne : « Weekly Oil bulletin ».

L’Islande a adopté une stratégie fiscale similaire de distorsion des prix relatifs : d’après l’OCDE, l’Islande est en effet le pays où est observé le plus fort écart entre le niveau de taxation des sources d’énergie combustibles et non combustibles. Les chiffres exprimés en euros par Gigajoule sont du même ordre de grandeur que ceux observés en France pour les carburants routiers, cependant l’intensité carbone de la consommation d’énergie en tCO₂ par TeraJoule est la plus faible du panel de pays observés par l’OCDE (OCDE, 2019). De fait, les pays qui taxent davantage les combustibles se caractérisent généralement par une consommation d’énergie moins carbonée. L’Islande parvient à créer cet écart par le double mécanisme suivant : une taxation des carburants en ligne avec celle observée en France ; et une taxation de la consommation énergétique d’origine non combustible nulle.

À côté de ce modèle d’une fiscalité visant avant tout à créer une différence claire de prix entre énergies carbonées et décarbonées existe une vision distincte, à l’œuvre en France et dans le cadre européen de la fiscalité énergétique, inspirée par un but de *sobriété énergétique*. L’idée est que le rôle de la fiscalité sur l’énergie est également de limiter le développement de structures économiques trop dépendantes à l’énergie en général et non aux seules énergies carbonées en favorisant les modes de production économies. L’expression de sobriété énergétique figure dans la directive 2003/87/CE dite « taxation de l’énergie » qui fixe des plafonds légaux aux différentes accises sur l’énergie pratiquées dans l’Union.

En choisissant d’augmenter la composante carbone selon une trajectoire ambitieuse sans par ailleurs baisser significativement d’autres prélèvements sur l’énergie, la France a implicitement choisi un but de sobriété énergétique avec une augmentation des prix absolus, en plus d’un but de décarbonation jouant sur les prix relatifs entre énergies. À première vue, ce choix, *a priori* plus douloureux pour les contribuables, peut apparaître comme une explication de l’échec de la taxe. Mais la question de sa pertinence reste entière pour au moins deux raisons fondamentales.

La première est, dans une perspective d’adaptation à un monde transformé par le réchauffement climatique, que la sobriété énergétique constitue peut-être plus que jamais une préparation indispensable. Même si « *promettre du sang, de la sueur et des larmes est politiquement un mauvais point de départ pour la promotion de mesures en faveur du climat* » (Gollier et Reguant, 2021), il se peut que la

position consistant à refuser d'augmenter le prix global des énergies en arguant de l'existence d'énergies propres constitue une forme de « piège énergétique » particulièrement dangereux.

La seconde est que la mise en place d'une fiscalité de basculement entre sources d'énergie implique de désigner explicitement quelles énergies seront promues par des baisses de fiscalité, au risque de commettre des erreurs environnementales. C'est toute la signification des débats autour du caractère écologique de la voiture électrique, des biocarburants, ou même du nucléaire. En raison de la nature multidimensionnelle du problème environnemental, il n'est pas à exclure qu'une décarbonation à consommation d'énergie constante se fasse en créant des pollutions ou des dommages nouveaux liés au développement d'une filière énergétique, alors qu'une augmentation de la fiscalité globale sur l'énergie peut préserver de ce type d'impasse en incitant en premier lieu à une baisse de la consommation d'énergie en général.

Les expériences suédoise et islandaise montrent donc l'acceptabilité supérieure d'une fiscalité affectant de manière différenciée les énergies, quand bien même l'objectif de sobriété énergétique – socialement moins acceptable – semble présenter l'avantage d'une meilleure anticipation d'un futur énergétiquement incertain. Les problèmes socio-économiques posés par ce dernier type de fiscalité peuvent toutefois trouver une solution ailleurs que dans la baisse de prix de certaines énergies.

2.2. Affectation « verte » des recettes fiscales ou mécanismes de compensation ?

Une gouvernance appropriée de l'utilisation (ou « recyclage ») des recettes de la fiscalité carbone est une condition nécessaire de son acceptation par les contribuables. Néanmoins, l'éventail des utilisations possibles des revenus est très large, ce dont témoigne la diversité des expériences étrangères en la matière (Postic *et al.*, 2019). Une alternative structurante se dégage toutefois : le choix entre une affectation des recettes à des dépenses visant à accélérer la transition écologique et une affectation à un mécanisme de compensation des pertes de pouvoir d'achat des ménages ou de compétitivité des entreprises¹⁰.

10. L'inefficacité de l'affectation budgétaire au sens strict est souvent soulignée en finances publiques. Nous laissons ce problème de côté et examinons l'affectation du point de vue de sa perception par les contribuables.

Plusieurs études empiriques menées ces dernières années en économie et en sciences cognitives démontrent de manière systématique que le fléchage des revenus de la fiscalité environnementale vers des dépenses « vertes » augmente l'acceptabilité de celle-ci par les ménages. L'étude liminaire des économistes Simon Dresner et de ses co-auteurs (2006) révélait ainsi que les contribuables (particuliers) n'étaient prêts à accepter l'introduction de taxes environnementales qu'à la condition que les revenus de cette taxe soient explicitement affectés à des objectifs environnementaux. Cette préférence pour l'affectation à des objectifs environnementaux est en lien avec la méconnaissance du public des mécanismes de fiscalité comportementale, avec la sous-estimation assez générale de l'efficacité des mécanismes de signal-prix et avec la croyance que les subventions sont plus efficaces pour atteindre les objectifs environnementaux, ce que mettent en évidence Steg et ses co-auteurs (2006) ou encore Kallbekken et Saelen (2011).

Le travail récent de Mus (2021) en sciences cognitives a cherché à tester ces hypothèses expérimentalement à propos de la taxe carbone. La chercheuse retrouve cette préférence pour l'affectation des produits de la fiscalité environnementale à des projets verts. La part de l'échantillon de contribuables français qui pourraient soutenir une taxe environnementale passe de 50 % lorsque les revenus de la taxe ne sont pas réaffectés spécifiquement à des projets verts à près de 75 % lorsqu'ils le sont. Ce type de préférence découle de ce que la chercheuse désigne comme les biais de la « comptabilité mentale ». Il s'agit d'un mécanisme cognitif qui relie de manière *thématische* les recettes et les dépenses et que les individus mettent en œuvre dans leur rapport quotidien à l'argent : les contribuables plébiscitent ainsi une mesure montrant une continuité entre l'origine et l'emploi des recettes, qui leur paraît inspirée par le bon sens quand bien même elle serait peu justifiée du point de vue des finances publiques.

Outre l'Allemagne qui s'est dotée d'un fonds d'affectation énergie-climat alimenté par le système parafiscal de taxation du carbone qu'elle a mis en place en janvier 2021, la Suisse, la Californie et le Québec ont mis en place de tels mécanismes d'affectation où tout ou partie des revenus de la taxe carbone est affectée à des fonds publics de transition écologique qui permettent le subventionnement de l'acquisition de véhicules plus performants, le développement des transports collectifs, la rénovation énergétique des bâtiments ou encore, en Suisse

notamment, le financement de l'innovation technologique dans le domaine de la transition écologique. On pourra relever que la principale mesure allemande présentée comme projet vert consiste dans le financement de l'accroissement de la différence entre le prix des énergies renouvelables et les énergies fossiles, visant ainsi de fait à accentuer les effets de signal-prix relatif pour encourager à la modification des consommations, et recouvre ainsi l'idée évoquée ci-dessus d'une fiscalité de substitution entre énergies.

Les dispositifs de type « bonus-malus », qui sont une forme de taxe affectée où le malus collecté sert au financement du bonus distribué, sont également un exemple où le fléchage des recettes montre une très bonne acceptabilité par les contribuables : en rompant avec une perception exclusivement négative de la fiscalité et en désignant explicitement des choix vertueux permettant de bénéficier du bonus, ces dispositifs proposent aux contribuables un rapport actif, et non subi, à la fiscalité. Signe de son succès, ce type de bonus-malus appliqué à l'achat d'automobiles est apparu dans des pays comme la Suède ou le Danemark, à la suite de sa mise en place en France en 2008.

Toutefois, compte tenu de la prégnance des effets distributifs, notamment verticaux, mais aussi de la mauvaise perception de la fiscalité énergétique, une option à envisager est celle de la compensation des hausses d'impôt pour les ménages. Les travaux de Sommer *et al.* (2020) permettent en particulier de comprendre pourquoi, alors même que la majorité des contribuables a une préférence marquée pour l'affectation des produits d'une taxe environnementale à des projets verts, il est tout de même incontournable, pour son acceptabilité, de retourner une partie des revenus aux ménages. Les études empiriques de ces économistes pointent en effet que si les dépenses vertes ont effectivement la faveur du plus grand nombre dans l'affectation des recettes d'une taxe carbone, cela résulte en bonne part du fait des contribuables qui montrent le plus de préoccupations pour les enjeux climatiques. En revanche, ce sont d'autres contribuables, moins progressistes sur l'échiquier politique, qui sont les moins enclins à accepter la mise en œuvre d'une taxe carbone : ces derniers, au moins pour ceux appartenant aux classes populaires, sont les plus sensibles aux effets d'une redistribution des produits de la taxe par un mécanisme de compensation. Ainsi comme l'expliquent les auteurs, même si une affectation à des projets verts est la plus « populaire », il y a un risque de « prêcher des convertis », alors que la redistribution vers les

ménages modestes est une manière d'étendre l'acceptabilité de la fiscalité énergétique à de nouvelles couches, en particulier aux prisonniers énergétiques.

Dans le cadre d'une redistribution vers les ménages, deux approches alternatives sont possibles : une redistribution forfaitaire réallouant à chaque ménage la même somme ; ou une redistribution ciblée sur les ménages aux plus faibles capacités contributives afin notamment de lutter contre les effets distributifs de la fiscalité énergétique. Sommer et ses coauteurs (2020) ont tenté de déterminer laquelle de ces deux options pouvait avoir la préférence des contribuables à travers une expérience menée sur 6 000 foyers allemands. Il s'avère en l'espèce que les contribuables allemands préféreraient une redistribution forfaitaire des revenus de la taxe environnementale plutôt qu'une redistribution ciblée sur les plus précaires. Dans les faits, une redistribution forfaitaire suffit à rétablir une progressivité des hausses de taxes énergétiques en moyenne (Douenne et Fabre, 2019), mais la redistribution est moins accentuée que dans le cadre de versements ciblés. Cela ne présage néanmoins pas des préférences des contribuables français pour lesquels la perception de l'équité entre les contribuables pourrait être différente. Les travaux de Douenne et Fabre (2019, 2020) montrent en particulier que la capacité des compensations forfaitaires à rétablir la progressivité n'est pas perçue en France, et qu'il existe, face à ce type nouveau de mécanismes de compensation, une propension marquée des contribuables à sous-estimer fortement les gains qu'ils peuvent tirer du dispositif. D'autre part, la complexité à cerner précisément le groupe des prisonniers énergétiques, et l'impératif de ne pas compenser l'ensemble des perdants d'une hausse de la fiscalité énergétique sous peine de détruire ses effets incitatifs, sont des éléments à prendre en compte dans la conception de tels mécanismes de compensation. Plusieurs propositions de mécanismes ont été conçues dans le sillage du mouvement des Gilets jaunes, faisant notamment varier des paramètres de progressivité (Guillou et Perrier, 2019 ; Bureau *et al.*, 2019) et constituent un point de départ pour une réflexion politique sérieuse sur la question.

L'espace des décisions possibles en matière de recyclage des revenus de la fiscalité énergétique est donc très important, puisqu'il peut être au moins décrit comme un ensemble de combinaisons entre les deux grands types de recyclage que sont l'affectation à des dépenses environnementales et les mécanismes de compensation. Si

l'on excepte le compte d'affectation spéciale transition énergétique, qui constituait une déclinaison du premier type de recyclage en France, mais qui a été supprimé au 1^{er} janvier 2021, l'agenda politique français reste encore à concevoir pour ce qui touche au recyclage des recettes fiscales énergétiques. L'idée de budget participatif, consistant à offrir un pouvoir décisionnel direct aux citoyens pour une partie d'un budget public (Sintomer, 2008), peut au surplus constituer un outil d'activation du lien entre contribuables et décisions politiques, et faire reculer la perte de confiance dans les institutions en créant les conditions de citoyens acteurs de la fiscalité environnementale.

2.3. Une fiscalité carbone différenciée ou uniforme ?

La composante carbone française des taxes intérieures de consommation est assortie de nombreuses exonérations et taux réduits selon le type de produit énergétique consommé et le secteur contributeur, ce qui reflète une situation d'ensemble de la fiscalité énergétique en Europe. Le rôle de ces taux réduits et exonérations doit être considéré avec prudence en matière d'acceptabilité de la fiscalité, en raison de leur double effet : en éloignant la taxe carbone d'un idéal d'uniformité, ils peuvent contribuer à un sentiment d'injustice et d'inefficacité, mais en allégeant précisément la charge fiscale pour certains acteurs, ils sont susceptibles de constituer un levier d'acceptation et de réduire les oppositions.

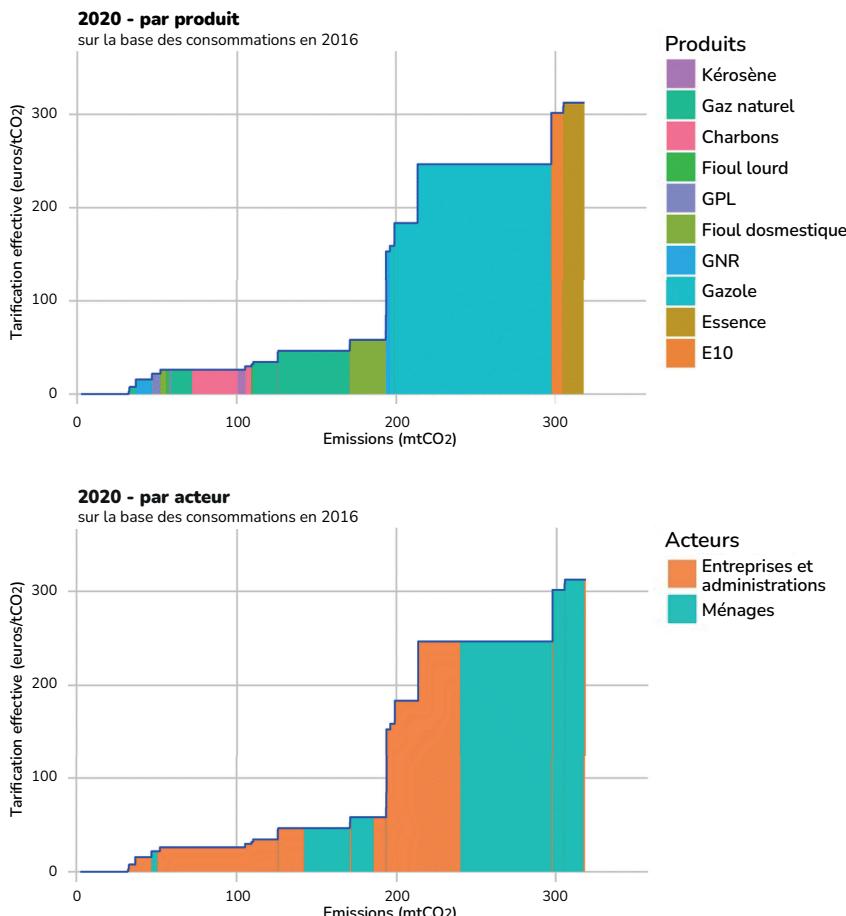
L'hétérogénéité des prix effectifs du carbone est bien résumée dans les travaux du Commissariat général au développement durable (CGDD), qui montrent visuellement les différences de tarification selon les produits et les acteurs (graphique 3), résultant à la fois de la fiscalité énergétique et du système européen d'échange de quotas d'émissions (SEQE) (Dequiedt, 2020).

Juridiquement, ces différences prennent la forme de nombreuses dépenses fiscales, ciblant en général une catégorie croisée secteur-produit, dont les principales ont été relevées et évaluées par le think tank I4CE (Fetet *et al.*, 2019). Pour l'année 2019, l'institut estime à 16 Md€ la « somme des dépenses fiscales défavorables au climat », chiffre expliqué aux deux tiers par les 4 mesures suivantes :

- l'exonération sur le kérosène pour l'aviation (3,6 Md€ et 5 % des émissions françaises) ;
- les taux réduits sur le gazole non routier pour les usages agricoles et non agricoles (2 Md€ et 3 % des émissions françaises) ;

- le taux réduit sur le gazole pour les poids lourds (1,5 Md€ et 5 % des émissions françaises) ;
- le différentiel gazole-essence, qui n'est juridiquement pas considéré comme une dépense fiscale mais dont l'inclusion dans cette catégorie semble pertinente en matière environnementale (3,5 Md€ et 12 % des émissions françaises).

Graphique 3. Courbe de tarification effective par produit consommé et par type d'acteur émetteur en 2020, sur la base des consommations 2016



Ce travail du CGDD est basé la fiscalité applicable en France en 2020 et sur un prix du carbone moyen de 28€/tCO₂ dans le SEQE. Or depuis cette date, le prix du quota carbone européen (l'EUA) a connu une forte hausse, passant de 30,96€/tCO₂ en décembre 2020 à 79,71€/tCO₂ en décembre 2021. À l'heure actuelle, les installations concernées par le SEQE connaissent donc une tarification du carbone significativement supérieure à celle indiquée sur les graphiques.

Graphique créé à partir du Modèle Elfe (version 20-04-08, CGDD) par Dequiedt, B., 2020,
« La tarification des émissions de CO₂ en France », Théma Analyse, Commissariat général au développement durable.

Hormis cette dernière disposition qui n'est pas une dépense fiscale *stricto sensu*, toutes les dépenses fiscales associées aux TIC concernent certains secteurs (agriculture, taxis, transport routier de marchandises...). La TICPE compte ainsi 54 taux différents selon le produit consommé et le secteur consommateur, dont les seuls carburants montrent déjà un panorama complexe. L'un des résultats souvent soulignés de cet ensemble de dépenses fiscales est que la fiscalité énergétique pèse davantage sur les ménages, qui ne bénéficient d'aucun taux dérogatoire, que sur les entreprises.

La plupart des économistes considèrent que ce manque de justice entre types d'acteurs dans la répartition de l'effort est un frein à l'acceptabilité de la fiscalité environnementale, en plus d'une source d'inefficacité écologique : l'uniformité des prix du carbone est implicitement érigée en norme de justice. L'économiste Jean Tirole écrivait ainsi en 2009 : « *idéalement, le prix du carbone devrait être le même, quelle que soit la source ou le pays dans lequel la tonne de carbone est émise.* » (Tirole, 2009, cité par Pottier, 2016). Au passage, c'est aussi l'argument de la trop grande dispersion des prix du carbone qui avait mené le Conseil constitutionnel à censurer par deux fois un projet de taxe carbone, en 2000 et 2009, au nom d'une rupture du principe d'égalité devant les charges publiques (CPO, 2019).

Pourtant, plusieurs éléments montrent que ces différences de prix ne sont pas toutes perçues comme des injustices par les contribuables. Premièrement, l'étude des revendications issues des Gilets jaunes montre que celles-ci ne sont jamais formulées contre les entreprises en général par opposition aux ménages, mais ciblent certains secteurs en particulier :

- le transport aérien – avec la détaxe du kérosène – et, dans une moindre mesure, le transport maritime. L'exonération de TICPE sur le kérosène est en particulier perçue avec acuité, dans la mesure où, en plus d'être totale et non partielle, elle est associée à raison à un type de pollution particulièrement intense (la contribution du seul trafic aérien au réchauffement climatique est de l'ordre de 4,9 % au niveau mondial, selon The Shift Project (2019)) et bénéficiant avant tout aux ménages aisés¹¹ ;

11. Le maintien de la détaxe du kérosène en dépit de son caractère anti-redistributif et anti-écologique est expliqué en partie par la Convention de Chicago de 1944 qui interdit de taxer le kérosène entrant sur le territoire *via* les réservoirs d'avions, ainsi que par des dispositions issues d'accords bilatéraux et du droit européen (CPO, 2019).

- en revanche, les taux réduits sur le GNR bénéficiant au secteur du BTP et aux agriculteurs, pas plus que les dépenses fiscales bénéficiant au secteur du transport routier de marchandises, ne sont considérés comme des injustices.

Au contraire, les possibilités d'exonération constituent, lorsqu'elles sont un minimum justifiées, une aide plutôt qu'un obstacle à l'acceptabilité de l'impôt. Outre le fait objectif que certains secteurs exposés à la concurrence internationale se trouvent réellement menacés par une fiscalité énergétique trop lourde par rapport à l'étranger en raison du phénomène de « fuites de carbone » (L'Heudé *et al.*, 2021), cette conception des exceptions comme levier d'acceptation est défendue dans des travaux de sociologie et de science politique.

Ainsi, l'étude pluridisciplinaire de Klenert *et al.* (2018) conclut que la prise en compte des « coûts concentrés » sur certains secteurs touchés par des taxes environnementales, *via* des compensations, est nécessaire pour ne pas susciter d'opposition. Sur le problème de la justice fiscale en général, Spire (2018) estime également que « *c'est paradoxalement lorsque les moyens de contourner l'impôt s'amenuisent que la contestation de sa légitimité s'intensifie* » : autrement dit, un impôt conçu sans mesures d'atténuation pour certaines catégories de contribuables a plus de chances d'être contesté. La possibilité d'aménagements sous conditions ou de « contractualisation » de l'impôt au bénéfice des acteurs soumis à de fortes contraintes semble être une condition récurrente d'acceptation.

Ainsi, si l'objectif d'une fiscalité du carbone uniforme peut demeurer un horizon politique majeur, notamment dans l'idée que les taux réduits actuels sont supprimés et remplacés par mesures d'accompagnement qui ne sont plus des subventions implicites aux consommations carbonées et que les dépenses fiscales les plus criantes seront diminuées, il est intéressant de garder à l'esprit que la prise en compte des consommations contraintes appelant des aménagements à ce principe d'uniformité du prix du carbone constitue un facteur important pour lever les oppositions politiques à la fiscalité énergétique incitative, et ainsi créer des conditions d'une acceptabilité accrue.

3. Conclusion : quelles pistes en faveur d'une fiscalité sur l'énergie plus acceptable ?

La première partie de cet article s'est intéressée aux trois principales causes d'impopularité de la fiscalité sur l'énergie : outil mal compris, impôt inégalitaire offrant peu de solutions alternatives d'évitement pour les plus modestes et mauvaise communication ou affectation des recettes fiscales. Cette partie a également identifié quelles étaient les catégories sociales les plus sensibles à une hausse de cette fiscalité.

Quant à la seconde partie, elle a cherché à montrer que la montée en puissance de la fiscalité énergétique incitative ne peut être considérée comme un programme monolithique (augmenter la composante carbone pour tous), mais qu'elle peut au contraire prendre des visages très différents selon le degré de sobriété énergétique recherché, selon le dispositif de recyclage des recettes mis en place, et selon le nombre d'aménagements retenus.

En guise de synthèse, le tableau ci-dessous propose une vue d'ensemble des difficultés (causes de l'impopularité et populations concernées) et des solutions potentielles d'amélioration qui existent en matière de fiscalité énergétique, dont celles présentées dans cet article ne sont que les principales dans le cas français.

Toutefois, les blocages présentés dans la première partie ne pourront pas cesser d'exister simplement par la vertu d'une fiscalité énergétique conçue intelligemment. La fiscalité énergétique ne possède pas intégralement en elle-même les conditions de son augmentation. Au contraire, elle est soumise à un impératif de double cohérence : cohérence avec le reste du système socio-fiscal d'une part, mais surtout cohérence avec les politiques climatique et énergétique dans leur ensemble.

L'impératif de cohérence de la fiscalité énergétique avec le reste du système socio-fiscal est donné en premier lieu par ses effets distributifs de court terme : comme l'a montré l'expérience française, une augmentation non compensée de cette fiscalité, globalement régressive, ne peut aller de pair avec d'autres réformes fiscales de nature régressive comme la transformation de l'ISF en IFI (impôt sur la fortune immobilière), sans poser un problème d'acceptabilité. La prise en compte systématique des incidences sociales et environnementales dans les études d'impact des projets de réforme fiscale apparaît à cet égard comme un minimum nécessaire.

Tableau. Résumé des blocages identifiés et des solutions envisageables

Grande catégorie de résistance	Cause de l'popularité	Population concernée	Pistes d'amélioration de l'acceptabilité
Motifs objectifs	Régressivité de la fiscalité environnementale	Ménages modestes	Compensation des effets de la hausse des coûts induits par la fiscalité
	Effets distributifs horizontaux	Population rurale et périphérie urbaine	Compensation complexe faute d'informations détaillées
	Perte de compétitivité vis-à-vis d'entreprises non soumises à la concurrence internationale	Entreprises soumises à la concurrence internationale	Exonération, appui à la transition énergétique et action dans un cadre international
	Imprévisibilité de la trajectoire	Entreprises avec des projets d'investissements sensibles au prix des énergies	Donner un cadre clair, transparent et prévisible à la fiscalité énergétique et agir dans un cadre international
Motifs subjectifs	Différences de traitement fiscal entre énergies et entre types de contribuables	Ménages vs. entreprises, automobilistes vs. voyages en avion	Atténuer les différences de traitement, dès lors que des marges de manœuvre sont possibles et que cela n'altère pas la compétitivité des entreprises soumises à la concurrence internationale et agir dans un cadre international
	Sentiment d'être prisonnier de ses consommations de combustibles fossiles	Ménages modestes habitant en périphérie ou en zone rurale	Développer des alternatives et activer le rapport à la fiscalité environnementale, notamment par la mise en œuvre de bonus-malus
	Inefficacité perçue de l'instrument fiscal face au changement climatique	Certains ménages	Information, communication et participation des citoyens
	Incompréhension des mécanismes de la fiscalité pigouvienne	Certains ménages	Information, communication et participation des citoyens
	Déconnexion temporelle entre une taxe qui contraint à court terme et des effets observables à long terme	Certains ménages	Information et communication
	Perception illusoire que d'autres politiques sans taxe carbone sont plus efficaces/moins coûteuse	Certains ménages	Information, communication et participation des citoyens
	Absence de confiance dans l'action de l'État	Certains ménages	Information, communication et participation des citoyens

Mais c'est surtout la place de l'outil fiscal au sein de l'ensemble des instruments de politique environnementale et énergétique qui doit être clarifiée. L'existence des prisonniers énergétiques nous le rappelle : en l'absence d'alternatives décentes aux consommations énergétiques frappées par un signal-prix, la fiscalité incitative est vouée à rencontrer des résistances fortes. Elle ne peut donc avoir le rôle principal dans la conduite de la transition énergétique. Pottier (2016) explicite ce point : « *un prix du carbone ne saurait à lui seul enclencher les transformations nécessaires pour réorganiser l'économie dans son ensemble. Cette tâche titanique implique un tel changement des structures de production que le prix du carbone ne peut avoir qu'un rôle d'accompagnateur et non un rôle d'entraînement.* ». L'importance du prix du carbone, qui dérive en grande partie de la fiscalité énergétique à l'heure actuelle, tient moins à sa capacité à susciter des changements qu'à s'assurer que les prix des énergies soient cohérents avec les changements souhaités, issus d'une politique de décarbonation active, et non-fiscale, de l'économie. Autrement dit, la création d'alternatives viables et l'investissement public dans des plans de réduction d'émission de grande ampleur apparaît en dernière instance comme la condition principale de l'acceptabilité de la fiscalité énergétique incitative. Une fiscalité énergétique forte est une condition nécessaire, mais non suffisante, à la réduction de nos émissions de gaz à effet de serre.

Références

- ADEME, D. Boy et RCB Conseil, 2020, « Synthèse. Les représentations sociales de l'effet de serre et du changement climatique ».
- Algan Y., E. Beasley, D. Cohen, M. Foucault, M. Péron, 2019, « Qui sont les Gilets jaunes et leurs soutiens ? », Observatoire du bien-être du CEPREMAP et CEVIPOF, n° 2019-03.
- Anderson, S. T., I. Marinescu et B. Shor, 2019, « Can Pigou at the polls stop us melting the poles? », *National Bureau of Economic Research Working Paper*, n° w26146..
- Berry A., 2018, « The distributional effects of a carbon tax and its impact on fuel poverty: A microsimulation study in the French context », *Energy Policy*.
- Bristow, A. L., M. Wardman, A. M. Zanni et P. K. Chintakayala, 2010, « Public acceptability of personal carbon trading and carbon tax », *Ecological economics*, vol. 69, n° 9, pp. 1824-1837.

- Bureau D., F. Henriet et K. Schubert, 2019, « Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe. », *Notes du conseil d'analyse économique*, n° 50, 1-12.
- Combet E. et J.-C. Hourcade, 2019, *Fiscalité carbone et finance climat. Un nouveau contrat social pour notre temps*, Les petits matins.
- Confavreux J., 2019, *Le fond de l'air est jaune. Comprendre une révolte inédite*, Seuil.
- Conseil des prélèvements obligatoires (CPO), 2019, *La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique*, La Documentation française.
- Delalande N., 2011, *Les batailles de l'impôt. Consentement et résistances de 1789 à nos jours*, Seuil.
- Delalande N. et A. Spire, 2010, *Histoire sociale de l'impôt*, La Découverte.
- Dequiedt B., 2020, « La tarification des émissions de CO2 en France », Théma Analyse, Commissariat général au développement durable.
- Douenne T., 2018, « Les effets redistributifs de la fiscalité carbone en France », *Note IPP*, n° 34.
- Douenne T. et A. Fabre, 2019, « Opinions des Français sur les politiques climatiques », CEPREMAP, *document de travail*, n° 1906.
- Douenne T., et A. Fabre, 2020, « Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion. », *Fuel*, n° 75, p. 20-000.
- Dresner S., L. Dunne, P. Clinch et C. Beuermann, 2006, « Social and political responses to ecological tax reform in Europe: an introduction to the special issue », *Energy policy*, vol. 34, n° 8, pp. 895-904.
- Duédal É. et J. Grosjean, 2021, « Les stratégies nordiques pour le climat », *Trésor-éco*, n° 285.
- Fetet M., Q. Perrier et S. Postic, 2019, *Une évaluation climat à 360° du budget de l'État*, I4CE, Paris.
- Gollier C. et M. Reguant, 2021, « Changement climatique », in *Les grands défis économiques*, O. Blanchard et J. Tirole (dir.), France Stratégie.
- Guillou A. et Q. Perrier, 2019, *Climat et fiscalité : trois scénarios pour sortir de l'impasse*, I4CE et Terra Nova.
- Hourcade J.-C., 2015, « La taxe carbone : une idée toujours d'avenir si... », *Revue de l'OFCE*, n° 139, pp. 167-196.
- IPSOS-EDF, 2020, « Obs'COP 2020. Résultats complets par pays de l'Observatoire international climat et opinions publiques ».
- Kallbekken S. et H. Sælen, 2011, « Public acceptance for environmental taxes: Self-interest, environmental and distributional concerns », *Energy Policy*, vol. 39, n° 5, pp. 2966-2973.
- Kallbekken S., S. Kroll et T. L. Cherry, 2011, « Do you not like Pigou, or do you not understand him? Tax aversion and revenue recycling in the lab. », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 62, n° 1, pp. 53-64.

- Klenert D., L. Mattauch, E. Combet, O. Edenhofe, C. Hepburn, R. Rafaty, et N. Stern, 2018, « Making carbon pricing work for citizens », *Nature Climate Change*, vol. 8, n° 8, pp. 669-677.
- L'Heudé W., M. Chailloux et X. Jardi, 2021, « Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne », *Trésor-Eco*, n° 280.
- Mus M., 2021, *Mental Accounting shapes citizens' preference for green earmarking of carbon taxes*, mémoire de M2, Laboratoire de neurosciences cognitives et computationnelle (LNC²), Département d'études cognitives, École normale supérieure, Université PSL, INSERM.
- OCDE, 2019, *Taxing Energy Use 2019*.
- Postic S., C. Métivier et C. Bultheel, 2019, *Fiscalité climat : la France peut apprendre des expériences étrangères pour avancer*, I4CE.
- Pottier A., 2016, *Comment les économistes réchauffent la planète*, Seuil.
- Sintomer Y., 2008, *Les budgets participatifs en Europe. Des services publics au service du public*, La Découverte, Paris.
- Sommer S., L. Mattauch et M. Pahle, 2020, « Supporting carbon taxes: The role of fairness », *Ruhr Economic Papers*, n° 873.
- Spire A., 2018, *Résistances à l'impôt, attachement à l'État-Enquête sur les contribuables français*, Seuil.
- Steg L., L. Dreijerink et W. Abrahamse, 2006, « Why are energy policies acceptable and effective? », *Environment and behavior*, vol. 38, n° 1, pp. 92-111.
- The Shift Project, 2019, *Petit manuel d'auto-défense intellectuelle sur l'avion, le climat et la fiscalité en France*.
- Tirole J., 2009, *Politique climatique : une nouvelle architecture internationale*, Rapport au CAE, Paris.

JOINTLY TACKLING THE CLIMATE CRISIS AND SOCIAL ISSUES

INTEGRATING SOCIAL CONSIDERATIONS INTO CLIMATE BUDGET TAGGING EXERCISES

Solène Metayer, Sébastien Postic, and Louise Kessler

Institute for Climate Economics (I4CE)

Climate change and social issues have multiple two-way interactions, yet they are often addressed separately in public policy-making processes. We present here an analysis grid developed to facilitate the identification of climate and social hotspots in a national budget. Building on Climate Budget Tagging exercises, this tool aims to help governments easily review their entire budget to bring out budgetary measures that have both climate and social impacts. We applied the analysis grid to the French finance bill for 2021, highlighting that 83% of climate-related budgetary expenditures also have social impacts.

Mots clés : Green budgeting, climate budget tagging, social impacts, inequalities, just transition, performance budgeting.

Introduction

Climate change and social issues have multiple two-way interactions. While some public policies explicitly aim to kill these two birds with one stone, in many cases the two issues are tackled separately, giving rise to unintended side effects. Climate change mitigation and adaptation measures can have positive social impacts, such as cleaner air and the creation of new jobs (Ürge-Vorsatz *et al.*, 2014). However, they can also have negative social externalities, for example increased unemployment or income inequality (OECD, 2021b). Similarly, some policies aimed at tackling social challenges worsen climate issues, while others help to address them (ONPE, 2018). Aligning climate and social agendas to address both issues jointly will help to prevent adverse side

effects and maximise opportunities for co-benefits. Moreover, the intersection of climate and social issues is being increasingly acknowledged globally, with the rise of environmental justice movements, as well as the adoption of the Sustainable Development Goals (United Nations, 2015).

Climate Budget Tagging (CBT) is a tool used to identify budget items that have positive or negative climate impacts (World Bank, 2021) and which could be adapted to cover both climate and social issues. CBT indicates policy measures designed to tackle climate issues while also identifying those that have unintended climate implications. CBT exercises are gaining momentum worldwide and are increasingly used as a tool to assess whether a country's budget is in line with its climate ambitions. However, these exercises mostly ignore social issues, which is symptomatic of how budgetary processes take into account these two issues separately. This study aims to fill this gap, by integrating social considerations into CBT exercises, in order to facilitate the joint consideration of climate and social impacts in public budget-making processes.

Using CBT as an analytical framework, this study aims to identify the social impacts of climate-related budgetary measures as well as measures that have both climate and social impacts, and to develop an analysis grid that allows any government to systematically assess the climate and social co-impacts of its budget. In addition, it aims to test the analysis grid in practice by carrying out a proof of concept on the French budget.

This paper is organised as follows. Section 1 introduces the background and findings from a literature review. Section 2 presents the analysis grid. Section 3 details the application of the grid to the French budget. Section 4 discusses improvements to the grid and provides recommendations for further analysis. Section 5 concludes.

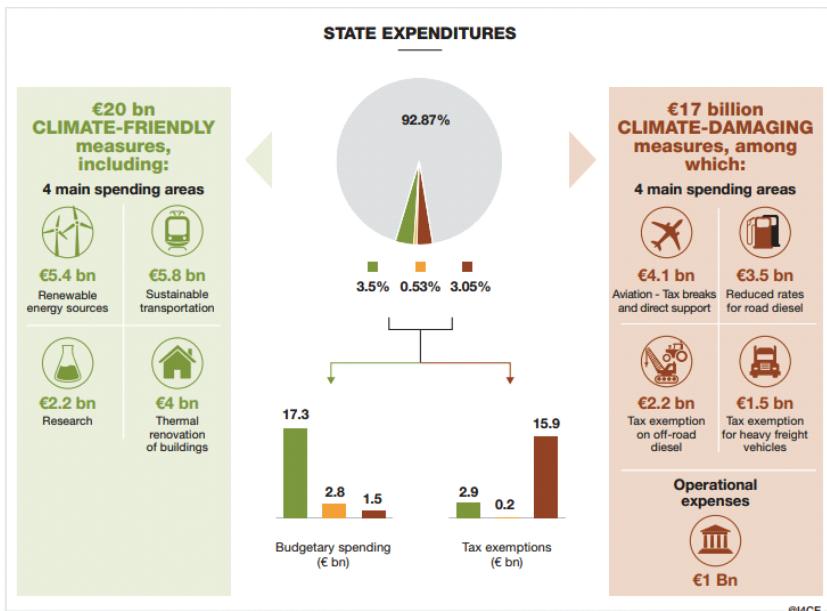
1. Literature review

1.1. Climate Budget Tagging principles

Climate Budget Tagging is the process of identifying all budget items that have positive or negative climate impacts. For example, CBT exercises tag investments in electric transport modes as climate-friendly, while investments and tax exemptions in the air transport

sector are classified as detrimental to the climate. CBT forms part of the ensemble of Green Budgeting practices, which cover all budgeting tools aimed at improving the environmental impact of fiscal policies, in order to help achieve environmental targets (Fetet *et al.*, 2019). The Institute for Climate Economics (I4CE) has identified more than 250 measures in the French budget that impact greenhouse gas (GHG) emissions (Figure 1).

Figure 1. Overview of climate-related French budgetary measures



Fetet *et al.* (2019).

CBT is a diagnostic tool that can be used to inform public authorities about the environmental compatibility of their budgets (Jansen, 2020). It has three main objectives. First, by assessing the environmental impacts of budget items, it helps to implement a coherent climate change strategy and improve budget performance (OECD, 2018). It is also useful for assessing the consistency of national budgets with national and international environmental commitments, such as the objectives of the 2015 Paris Agreement (République française, 2020). Finally, the CBT process helps to improve the transparency of expenditure and revenue. It answers questions such as: How much does the state spend to tackle climate change? How much is levied to

reduce GHG emissions? Who benefits from tax exemptions? (Fetet *et al.*, 2019) In order to lead to policy changes, the CBT results need to be integrated and taken into account within budget-making processes.

In less than two decades, over 50 countries have performed a climate assessment of their budgets, and 20 countries have implemented recurring exercises (Lecuyer & Postic, 2020). Early experiences took place mainly in developing countries and were supported in particular by the UNDP and the World Bank, through initiatives such as the Climate Public Expenditure and Institutional Review framework (UNDP, 2015). Several other frameworks have been developed since then, and methodologies vary between countries, as the environmental objectives taken into account and the scope of budget items analysed depend on countries' contexts and priorities (World Bank, 2021). Most countries' CBT exercises focus on climate mitigation or climate adaptation, and only include budgetary expenditure¹ (World Bank, 2021). The French CBT, initiated following the 2018 launch by the OECD of the Paris Collaborative on Green Budgeting (OECD, 2020), is so far the only initiative to address four additional environmental objectives: water resources management, the circular economy and waste, pollution abatement, and biodiversity and sustainable land use; moreover, in addition to budgetary expenditure, it includes the analysis of tax revenue² and tax expenditure.³ Both the positive and negative impacts on each objective are analysed, recognising that a budget item may have positive impacts on one objective but negative ones on another. A CBT methodology designed especially for local authorities and government bodies has also been developed (I4CE, 2020).

1.2. The need to address climate and social issues jointly

Social impacts related to the implementation of climate policies are growing in scale, with adverse side-effects at the forefront of the debate. The Yellow Vest movement in France started in 2018 to oppose an oil price hike and the big impact it would have on households' disposable income (OFCE, 2019). These protests took place in a

1. Budgetary expenditure is "expenditure authorized or to be authorized by the legislature through a budget law" (International Monetary Fund, 2001).

2. A tax is a "compulsory unrequited payment to the government" (OECD, 2021a).

3. "Tax expenditures include exemptions from the tax base, allowances deducted from gross income, tax credits deducted from tax liability, tax rate reductions, and tax deferrals" (International Monetary Fund, 2001).

particular context, characterised by the escalation of the climate crisis on one hand and the rise of social concerns on the other: poverty and unemployment rates in France are now higher than in the 2000s (Observatoire des inégalités, 2019), and income inequality has increased in OECD countries since 1980 (Keeley, 2015).

On the other hand, policies that address social objectives, such as “pro-growth” or “pro-poor” policies, may give rise to massive negative climate externalities. For instance, subsidies to the fossil fuel industry, provided on the grounds that they serve economic and societal purposes, contribute to higher GHG emissions and greater cumulative emissions over time (Fay *et al.*, 2015). However, climate and social policies can also lead to co-benefits, and some policies such as the thermal renovation of buildings for low-income households are explicitly designed to address both climate change and income inequality (Redouin *et al.*, 2014).

The importance of the opportunities for co-benefits is further emphasised by the concept of a just transition. This concept first appeared in the 1980s and demonstrates that the fight against climate change and the fight for social justice can be pursued together (Just Transition Initiative, 2020). Both the original concept, which focused on the protection of workers’ rights, and the current broader definition as written in the Conclusions of the 102th International Labour Conference, which includes the impacts of a low-carbon transition on society as a whole, highlight the feasibility of curbing climate change while ensuring social rights and equity (International Labour Organization, 2013). At the European level, the Just Transition Fund serves this purpose and aims to “alleviate the impact of the transition by financing the diversification and modernisation of the local economy and by mitigating the negative repercussions on employment” (Kołodziejski, 2021).

In response to this growing need to tackle climate and social issues together, intergovernmental organisations are recommending the integration of social objectives within CBT. For instance, the UNDP supports the joint consideration of poverty reduction and gender inclusion with climate objectives, especially in developing countries (Mukherjee *et al.*, 2014). Several NGOs and institutions are also campaigning for the inclusion of social inequalities in CBT. For example in France, the Power of Living Pact, supported by 50 organisations, has proposed 66 budgetary measures for a green and fair society (Pacte du

pouvoir de vivre, 2019). These initiatives underline the heightened awareness of the benefits to be gained from the integration of social considerations into CBT exercises. Moreover, these approaches echo early budget tagging exercises, which focused on social issues, and in particular poverty, international development and gender (World Bank, 2021). These budget tagging initiatives usually tackled one specific social dimension and tended to include only policies with positive impacts, for example pro-poor policies, gender equality policies, or policies that contribute to one or more SDGs. Recently, broader social budgeting practices have been developed, such as well-being budgeting in New Zealand (Government of New Zealand, 2019), or equality budgeting in Ireland (OECD, 2021c).⁴

1.3. Review of the climate and social co-benefits and adverse side-effects

This subsection presents the main social indicators and intensification factors impacted by climate-related budget items, and reviews the measures identified in the literature as having both climate and social impacts. The literature review included many keywords, such as 'energy policy' and 'distributional effects', and covered both academic and grey literature, in English and French.

1.3.1. *Identification of the main social indicators*

Several social dimensions impacted by climate-related budget items were identified in the literature. The five most relevant, because directly impacted, were selected and analysed as part of this study.

■ Income inequality

A policy that benefits more high-income households or places a higher burden on low-income households has negative distributional impacts and increases income inequality. For instance, feebate policies or tax credits for the purchase of an electric vehicle benefit more high-income households who can afford to buy a new vehicle (Durrmeyer, 2018; Borenstein & Davis, 2016).

4. Unlike for climate impacts, there is so far no methodology to tag all the social impacts of a budget (i.e., all social dimensions and both positive and negative impacts). Existing social budget tagging tools are less comprehensive than CBT for climate policies, and there is no unified framework for social budget evaluation. Developing a methodology to tag all budget items' social impacts is much more complicated than for climate impacts, as the scope is broader and multifaceted, yet the results could be highly interesting. Nevertheless, this is beyond the scope of this study and requires extensive additional research.

On the other hand, some policies are explicitly designed to curb income inequality. The French “conversion bonus”, given when disposing of an old polluting vehicle to purchase a less polluting one, includes a maximum-income eligibility criteria; an ex-post socio-economic study revealed that most beneficiaries are non-taxable (CGDD, 2019).

■ Poverty & income

Many climate-related budget items impact poverty and income. Poverty can be defined as living with less than US\$3.20 or US\$5.50 per day, for lower-middle-income or upper-middle-income countries respectively (World Bank, 2020). Poverty in that sense depends directly on income. For example, financial support to farmers has a direct positive impact on income and can help reduce poverty (Ministry of Agricultural, Land Management and Cooperatives, Nepal, 2018). Depending on the policy mechanism, this support can lead to climate synergies or trade-offs. For example, subsidies or direct income payments conditional on environmental criteria have positive climate impacts, while tax exemptions on non-road diesel contribute to increased GHG emissions.

■ Employment

Policies aimed at supporting the transition to a low-carbon economy, such as policies that support the development of renewable energy (RE), often create new jobs (Markkanen & Anger-Kraavi, 2019). However, these policies can have negative employment impacts on other energy sectors, such as the coal industry, and the overall aggregate impact on employment is often unclear (OECD, 2021b).

Most policies impacting industries’ revenues or competitiveness will indirectly impact employment as well. For instance, an emissions trading system with auctioned allowances for energy-intensive trade-exposed industries could have negative employment impacts due to carbon leakage (I4CE, 2015), although this result is disputed (Carbon Market Watch, 2021).

■ Health

Any policy that reduces GHG emissions and other pollutants leads to health improvement, and vice versa (Markkanen & Anger-Kraavi, 2019). Climate mitigation policies can also lead to other health co-benefits, for example thermal renovation policies help regulate indoor temperatures and increase living comfort (Ürge-Vorsatz *et al.*, 2014).

Furthermore, climate adaptation policies often contribute to health improvement. Adaptive Social Protection measures, especially in developing countries, aim to ensure minimum standards of living and access to health services (Bowen *et al.*, 2020).

Nevertheless, some climate policies have ambiguous health impacts. For example, an energy consumption tax in residential buildings reduces overall GHG emissions and improves air quality, but also increases energy poverty, especially for low-income households, which can lead to health issues (Berry, 2019).

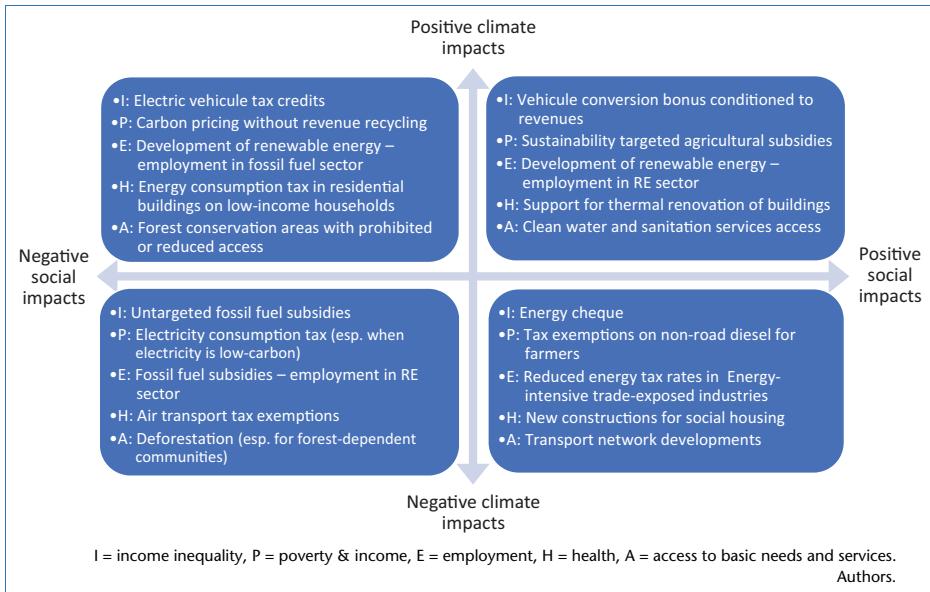
■ Access to basic needs and services

Climate-related budget items sometimes affect access to food, clean water, clean energy, or infrastructure access. For example, transport network developments increase transport infrastructure access and therefore facilitate the access to other services (Hallegatte *et al.*, 2019). However, this has negative climate impacts, especially if it increases private transport. On the other hand, while forest protection and carbon sinks enhancement policies lead to carbon absorption, they can have negative impacts on food security due to land use competition with agriculture, and they can threaten local populations' livelihoods (FAO & UNEP, 2020). Deforestation can also prevent forest-dependent populations from accessing basic needs and therefore threaten their well-being, in addition to having direct negative impacts on carbon emissions. There can nevertheless be synergies between climate and access policies, for instance access to clean water and sanitation services boosts households' ability to cope with the effects of climate change.

A policy can have different impacts on several indicators, some of which drive the impacts on other indicators. For instance, renewable energy projects can lead to higher energy prices, which negatively affect household income and put a greater burden on low-income households, which in turn aggravates energy poverty, leading to adverse side effects on health (Neuhoff *et al.*, 2013).

The previous examples suggest that the climate and social impacts of public policies fit into four different impact scenarios (Figure 2). The top right quadrant is the climate and social co-benefit (or synergy) scenario. The bottom left quadrant corresponds to policies that have negative climate and social impacts. The other two quadrants show scenarios with trade-offs between climate and social benefits.

Figure 2. Examples of budgetary measures impacting each social indicator, for each impact scenario



A given policy is not confined to one particular quadrant. It can fall into different quadrants based on the social indicator considered. Moreover, depending on the policy's design specificities, it may shift between quadrants. Some of the policies involving trade-offs could easily generate synergies through the implementation of the right fiscal instrument or public policy. For instance, a carbon tax without revenue recycling tends to be regressive and have a negative impact on income, but revenue recycling can be used as a lever to make the policy progressive and reduce inequality (World Bank, 2019). On the other hand, some negative impacts are harder to compensate for and would require greater policy adjustments. For example, the negative climate impacts of developments in transport networks can be limited by favouring public transportation but cannot be avoided without forgoing some of the social benefits.

1.3.2. *The influence of intensification factors*

The social indicators identified above show how people can be affected by climate-related budget items. However, impacts can vary from one individual to another. This led us to consider that social impacts are influenced by six group characteristics, which we named

intensification factors: age, gender, level of income, household characteristics, job sector, and urban or rural area (Figure 3). These factors are classified in four different levels on which people can be impacted.

■ Individuals

As individuals, people are affected differently depending on their **age and gender**.

- Young and elderly people tend to be more sensitive to the health benefits from reduced air pollution, and older workers are more vulnerable following job losses as they usually have more difficulty finding a new job (OECD, 2021b).
- Some measures promote gender equality and create opportunities for women. In agriculture, climate change financing that takes gender into consideration, and in particular the feminisation of agriculture, can support women's empowerment and reduce their workload through gender-friendly technology (Ministry of Agricultural, Land Management and Cooperatives – Nepal, 2018).

■ Households

Households' **level of income**, as well as **detailed features** such as the type of housing, home or car ownership, and the employment status, influence how people are impacted by policies.

- For instance, high-income households are the main beneficiaries of fuel tax exemptions for the aviation sector, as they fly more (The Shift Project, 2021).
- Similarly, homeowners tend to benefit more from subsidies that increase the value of property, such as subsidies for renovations or the development of public transportation nearby (OECD, 2021b).

■ Workers

Workers are affected differently depending on their **job sector**.

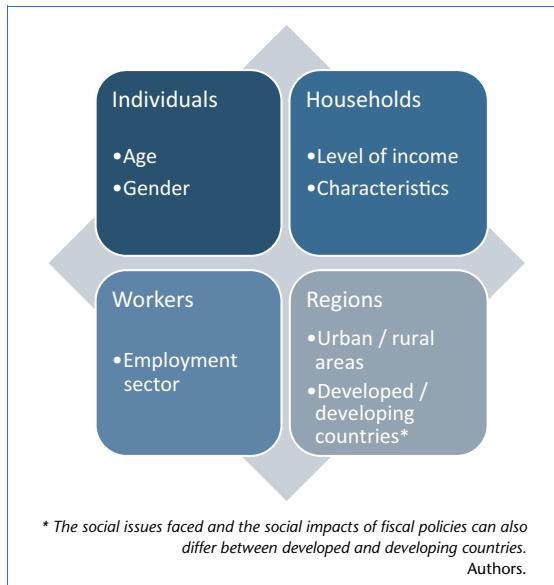
- Employees in polluting and energy-intensive industries are more at risk of losing their job in the context of the transition to a low-carbon society (Wang *et al.*, 2016).
- In contrast, new job creation tends to occur in low-carbon industries, including renewable energy production (OECD, 2021b).

■ Regions

Finally, social impacts also depend on geographical considerations.

- People are affected differently depending on whether they live in **urban or rural areas**. For example, it is well known that carbon taxes put a greater burden on rural households who have less alternatives to car use (Douenne, 2020).

Figure 3. **Intensification factors***



1.3.3. *Budgetary measures and social impacts characterisation*

The examples above show the diversity of climate-related budgetary measures that have social impacts. 100 measures⁵ were identified in the literature as having both climate and social impacts. They can be classified into eight sectors: energy, transport, building, industry, agriculture and forestry, social measures, natural disaster risk reduction and management, and other.

Social impacts of budgetary measures cannot always be tagged as positive or negative, and many measures have ambiguous effects. In

5. The full literature review, which includes the details of the 100 measures and their impacts as well as bibliographic references is available online at the following link: <https://www.i4ce.org/download/escb-grille-analyse/>

some cases, the same measure can have both positive and negative impacts on an indicator, depending on the context. For instance, renewable energy projects have health co-benefits as they reduce the share of fossil fuels in favour of renewable energy and thus reduce pollution (Markkanen & Anger-Kraavi, 2019). However, as mentioned section 1.3.1, they can also have adverse health side-effects on health when they lead to higher energy prices (Neuhoff *et al.*, 2013). The overall health impact is uncertain due to these opposite effects.

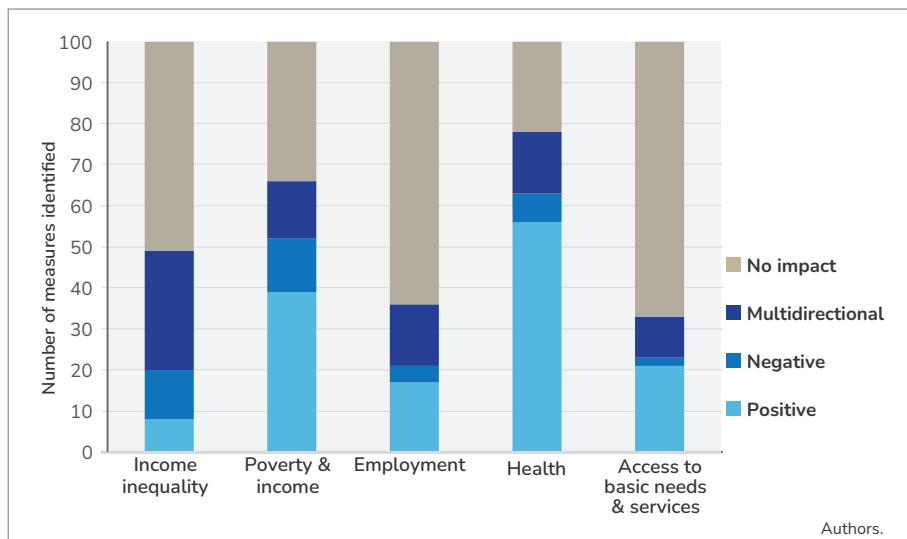
In addition, a measure's impacts are sometimes unclear and counterintuitive. A classic argument in favour of fossil fuel subsidies is that they reduce energy prices, and thus benefit poorer households and reduce energy poverty (Marchán *et al.*, 2017). However, in some countries, many poorer households do not have access to electricity or fuel distribution networks, or do not own a car or other equipment, which means that they do not benefit from lower energy prices (Zinecker *et al.*, 2018). Studies show that most fossil fuel subsidies tend to be regressive: as higher-income households consume more energy, they capture a bigger share of the subsidies. A study covering 20 developing countries showed that the bottom two deciles and top two deciles captured respectively 7% and 43% on average of existing fossil fuel subsidies (Fay *et al.*, 2015). Health impacts go in the same direction, as fossil fuel subsidies incentivise the production and overconsumption of fossil fuels, which increases pollution. Lower-income households tend to be more affected by higher levels of air pollution, as they are more likely to live in areas with poor air quality (Markkanen & Anger-Kraavi, 2019). To conclude, although fossil fuel subsidies reduce energy prices, they also have significant negative impacts on the poorest households.

These two examples demonstrate that a budgetary measure can have conflicting social effects. The actual impacts of a measure are often context-dependent and can be specific to each country and policy design. Nevertheless, there are some measures whose impacts are always either positive or negative. The numbers of unidirectional and multidirectional measures out of the 100 measures identified are detailed in Figure 4.

This graph shows that for some social indicators the impacts can be more systematically determined as positive or negative than for others. For instance, health impacts can usually be characterised as positive or negative, in contrast to income inequality impacts, which can often be multidirectional. This is logical insofar as income inequality impacts are

closely linked to policy designs and redistributive mechanisms, while health impacts are more inherently linked to a measure itself and its direct impacts on the living environment.

Figure 4. Impact orientation for each social indicator



The analysis of the 100 budgetary measures and their impacts contributed to the development of an analysis grid, to be applied to public budgets after a CBT exercise.

2. Overview of the analysis grid

The analysis grid⁶ is a methodological tool based directly on the previous literature review and the climate and social co-benefits and adverse side-effects identified. It also draws on interviews conducted with other French think tanks and research institutes⁷, and with I4CE experts.

6. The analysis grid is available online at the following link: <https://www.i4ce.org/download/escb-grille-analyse/>

7. OFCE, Institut des Politiques Publiques, Observatoire des inégalités, ADEME.

2.1. Scope

As the analysis grid is intended to be applied to budgets after a CBT exercise, its scope is consequently limited to the scope of the CBT exercises. All three categories of budget items are included: budgetary expenditure, taxes, and tax expenditure. In addition, we chose to focus the analysis on climate mitigation and adaptation objectives, as up to now most CBT exercises address only these climate issues.

The analysis grid is a preliminary tool that needs to be complemented by future studies. Current gaps in the literature limit the exhaustiveness of the analysis, and as new research fills in these gaps, the grid will need to be updated.

2.2. Description of the grid's elements

The analysis grid consists of an Excel spreadsheet, which includes all the budgetary measures identified as having both climate and social impacts. Each row corresponds to a specific measure. An extract of the analysis grid for the measure “development of renewable energy projects” can be found in Table 1. The first three rows refer to the sector, category, and sub-category of each budgetary measure, and the fourth row specifies the type of budgetary measure. The fifth row provides a code for each measure, to facilitate the later application of the grid. The code comprises two letters referring to the measure’s sectors and a number that indexes each measure.

The rows 7 and 8 summarise the impacts of each measure on climate mitigation and adaptation. Row 9 describes the social co-benefits, and row 10 describes the adverse side effects, drawn directly from the literature. In addition, the social impacts are coded with one row for each social indicator (11) and intensification factor (12). A “Yes” indicates that the measure can have some impacts on the given social indicator or intensification factor, while a “No” indicates that the measure has no identified impact. The analysis grid also includes a row, the sixth, that specifies whether the measure is relevant for developed or developing countries, or both. The type of country is not taken into account in the same way as the other intensification factors, as it determines whether or not a measure is relevant in a specific context in the first place, as opposed to the other factors, which only influence the impacts. The last two rows, 13 and 14, provide the references, as well as a robustness indicator.

Table 1. Overview of the analysis grid

1	Sector	Energy	
2	Category	Renewable energy	
3	Sub-category	Development of renewable energy projects	
4	Budgetary measure	Investments	
5	Code	EN1_1	
6	Countries (developed – developing)	Developed & developing countries	
7	Mitigation	Positive impacts	
8	Adaptation	/	
9	Social co-benefits	Health benefits; employment impacts in RE sector; women employment; regional implications for workers, job creation where limited employment opportunities	
10	Social adverse side-effects	if increased energy prices: impacts on poorer households, energy poverty & health impacts, job losses in RE sector; population displacements	
11	Social indicators	Income inequality	YES
		Poverty & income	YES
		Employment	YES
		Health	YES
		Access to basic needs & services	YES
12	Intensification factors	Income	YES
		Urban / rural area	YES
		Job sector	YES
		Gender	YES
		Age	NO
		Other household characteristics (energy used for heating, family structure, employment status, dwelling type, car & home ownership)	NO
13	Robustness indicator	Several studies; gender & regional in OECD report Germany, one example dvped country	
14	References	<p>Markkanen, S., & Anger-Kraavi, A. (2019). Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality. <i>Climate Policy</i>, 19(7), 827-844.</p> <p>Ürge-Vorsatz, D., Herrero, S. T., Dubash, N. K., & Lecocq, F. (2014). Measuring the co-benefits of climate change mitigation. <i>Annual Review of Environment and Resources</i>, 39, 549-582.</p> <p>Frondel, M., Sommers, S., & Vance, C. (2015). The burden of Germany's energy transition: An empirical analysis of distributional effects. <i>Economic Analysis and Policy</i>, 45, 89-99.</p> <p>OCDE (2021), « The inequalities-environment nexus : Towards a people-centred green transition », <i>OECD Green Growth Papers</i>, n° 2021/01, Éditions OCDE, Paris</p>	

3. A country case study: the environmental impact report associated to the French finance bill for 2021

The analysis grid was applied to the French green budget resulting from the government's CBT exercise. This stage of the study serves as a proof of concept, by testing the analysis grid with real-world data.

3.1. French CBT data

The French government published its first methodological report on green budgeting and CBT in September 2019⁸, in response to the OECD's call for action during the One Planet Summit (IGF, 2019). The following year, the government released the "Report on the environmental impact of the State's budget", presenting the environmental impact of the proposed budgetary expenditure and tax expenditure from the draft finance bill (DFB) for 2021 (République française, 2020).

According to this report, €41.8 billion (bn) out of the €488.4bn of controllable budgetary expenditure and €11bn out of the €85.9bn of considered tax expenditure, were identified as having environmental impacts on at least one of six environmental dimensions: climate mitigation, climate adaptation, water resources management, circular economy and waste, pollution abatement and biodiversity and sustainable land use. Moreover, €38.1bn were identified as having positive environmental impacts, €10bn as having negative impacts, and €4.7bn as having mixed impacts, i.e., positive impacts on at least one environmental dimension, but negatives impacts on some others (Figure 5). Most of the items that have negative impacts correspond to tax exemptions. The scope of the budget analysed in this report also included the French post-Covid19 recovery plan, which represents €100bn over several years: €32bn of the total were tagged as having environmental impacts, among which €27bn had positive impacts and €5bn had mixed impacts.

The government data on the DFB for 2021 indicates the positive, negative, or neutral impacts of budget lines on each environmental dimension. It includes budgetary and tax expenditure, as well as earmarked taxes⁹. The total amounts analysed for each type of budgetary measure and the amounts that have environmental impacts are summarised Table 2. Regarding the recovery plan, only the

8. This report is established by the article N°179 of the 2019 finance bill for 2020.

9. "Taxes raised and allocated to specific expenditure programs." (International Monetary Fund, 2007)

payment credits for 2021 are included in the table, i.e., €22bn, €6.54bn of which have impacts on climate mitigation or adaptation.

Figure 5. Environmental impact of budgetary and tax expenditure (€bn)



This figure shows at the top the total budget amounts that have positive, mixed and negative impacts. The graph on the left details the amounts of budgetary expenditure, and the graph on the right the amounts of tax expenditure. All amounts are in billion euros.
République française (2020).

Table 2. CBT amounts for the 2021 DFB

Draft finance bill for 2021	Budgetary expenditure	Tax expenditure	Earmarked taxes
Total analysed amount (€bn)	488.4	85.9	18.9
Climate-related amount (€bn)	38.4	10.9	7.0

Adapted from République Française (2020).

3.2. Application of the grid and scope of the analysis

The analysis grid presented in Section 2 was applied to each of the budget lines of the 2021 DFB that have climate impacts. Each of these budget lines was matched, where possible, with a measure from the analysis grid, to deduce its social impacts.

The scope and quality of the analysis is directly determined by the budgetary data available. The French CBT did not focus on climate-related taxes, but rather earmarked taxes whose use of revenues has climate impacts. Some budget lines even correspond to the use of revenue itself instead of the earmarked taxes. To that extent, applying the analysis grid to these taxes is not a very relevant proof of concept, and for some cases it is equivalent to analysing the same expenditure twice. To overcome this issue, the lines in question were replaced with the corresponding earmarked taxes and the proper amounts, obtained from budget documents (AFITF, 2021). In addition, the analysis grid was also applied to the climate-related taxes identified by I4CE through their own CBT of the French draft finance bill for 2019 (Fetet *et al.*, 2019).

Furthermore, the government data table does not include the exact budgetary expenditure amounts for each line. Instead, amounts are aggregated by groups of budget lines, so-called “actions”. To be able to exploit these amounts, the codes linked to budget lines belonging to a same action had to be aggregated as well. This raises two issues:

- First, if the budget line corresponding to an action does not have social impacts but the rest of action lines do, the amount corresponding to this budget line is still included. In other words, some budgetary expenditure amounts are overestimated.
- Second, by aggregating the codes at the action level, information on the weighted importance of the social dimensions within an action is lost. This leads to the impacts on some social dimensions being overestimated.

This is the main limitation of the case study, but while it significantly reduces the precision of the analysis, it could easily be avoided if the government released information at the budget line level

3.3. Climate and social co-impacts of the French budget

The application of the analysis grid to the French budget outlined the share of budget items that may have climate and social impacts

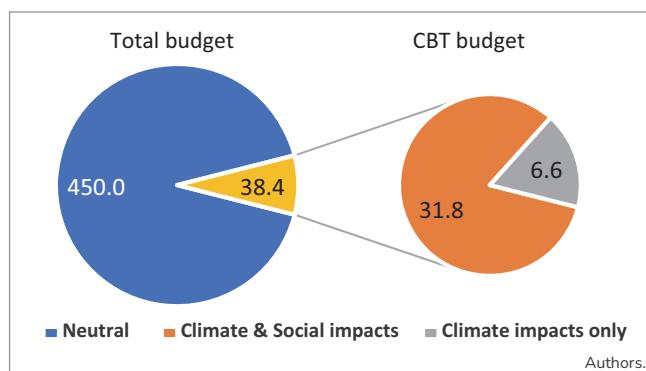
and highlighted the most impacted social indicators and the main intensification factors. However, similarly to the measures of the analysis grid and due to the methodology, it was not possible to tag as positive or negative the social impacts of budget items:

- First, some budget items match measures in the analysis grid that have ambiguous impacts on the social indicators.
- Second, most budget items have different impacts (positive, negative, ambiguous, or neutral) on each of the social indicators. It was therefore not possible to categorise the overall social impact.
- Third, some budget items match more than one measure of the analysis grid, and these measures do not necessarily have the same impacts on the social indicators.

Nonetheless, the results obtained from the analysis grid allow to visualize the magnitude of potential synergies or trade-offs between climate and social impacts of budgetary measures.

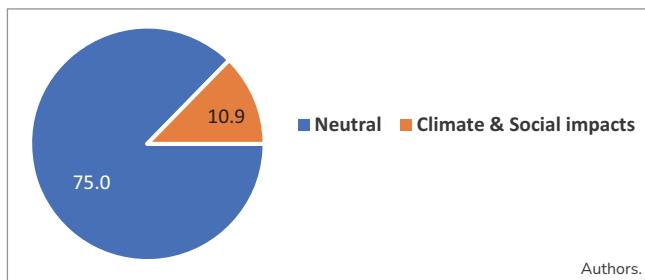
1) 6.5% of total budgetary expenditure in the 2021 DFB may have both climate and social impacts, i.e., €31.8bn, or 82.7% of climate-related budgetary expenditure (Figure 6).

Figure 6. Budgetary expenditure amounts (€bn)



2) 12.7% of total tax expenditure in the 2021 DFB may have climate and social impacts, i.e., all the €10.9bn of climate-related tax expenditure (Figure 7).

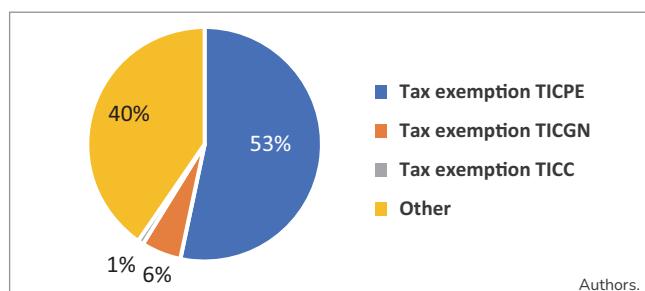
Figure 7. Tax expenditure amounts (€bn)



However, some tax loopholes are not included in the French tax expenditure data. When taking these into account – for instance, the tax difference between petrol and diesel and exemptions from the tax on energy products (TICPE) in the air transport sector, for certain ships and for refineries – tax expenditure increases to €16bn (Perrier & Vandon, 2021). Because this information does not appear in the CBT exercise released by the French government, the climate impacts and potential social effects of about 30% of tax expenditures are excluded from the analysis.

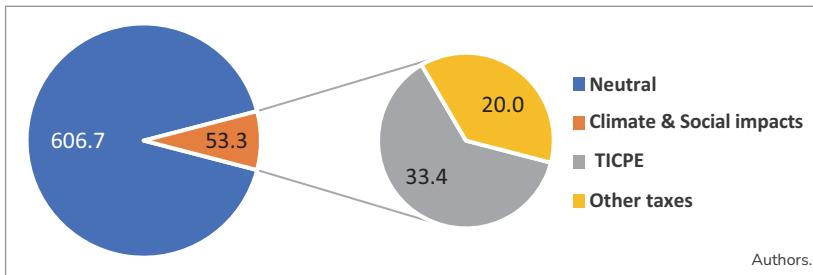
Moreover, out of the €10.9bn of tax expenditure that have climate and social impacts, 60% are tax exemptions on fossil fuels (Figure 8). These include exemptions from the tax on energy products (TICPE), the tax on gas (TICGN) and the tax on coal (TICC). TICPE exemptions are the biggest in terms of revenues and amount to 53% of climate-related tax expenditure. This underlines the prevalence of fossil fuel tax exemptions, and more precisely tax loopholes, among budget items that have negative climate impacts.

Figure 8. Share of tax exemptions on fossil fuels



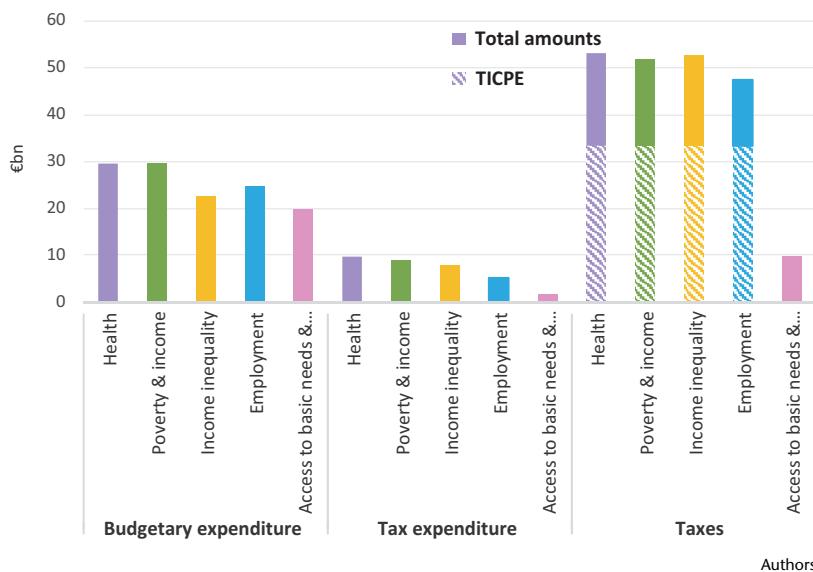
3) 8.1% of total taxes in the 2019 DFB may have climate and social impacts, i.e., all the €53.3bn of climate-related taxes (Figure 9). The TICPE alone amounts to €33.4bn, or 62.5% of all climate-related taxes.

Figure 9. Taxes amounts (€bn)



4) “Health” and “Poverty & income” are the most affected social indicators with respectively 90% and 88% of all climate-related budget items that can impact these indicators (Figure 10).

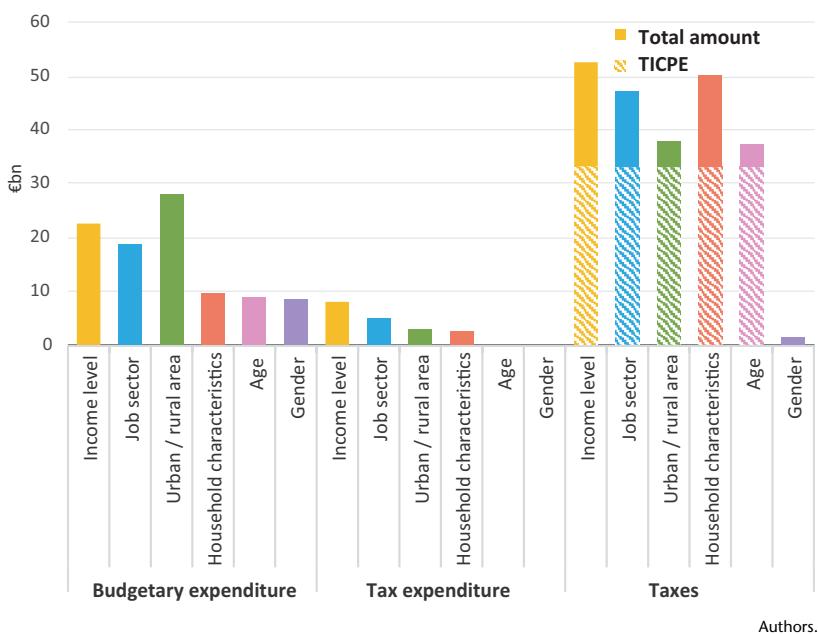
Figure 10. Climate-related budget items' impacts on social indicators



“Access to basic needs and services” is the least affected social indicator, which can be explained by France being a developed country where basic infrastructures, clean energy, water, and food are accessible to almost everyone¹⁰.

5) “Income level”, “Job sector” and “Urban or rural area” are on average the three main intensification factors influencing who is impacted by climate-related budget items, with respectively 81%, 69% and 68% of climate-related items that may have social impacts affected by these factors. Gender, on the other hand, has little influence, even though more and more budgeting exercises are integrating gender considerations in their analysis (Figure 11).

Figure 11. Effects of intensification factors on climate-related budget items' social impacts



Authors.

10. One could expect this indicator to be more impacted by fiscal policies in developing countries, both positively as more policies are aimed at tackling accessibility issues, and negatively as some policies' side effects can worsen these issues.

Household characteristics have a low influence on the impacts of budgetary expenditure, compared to the three main intensification factors, while they are the second-most influential intensification factor for taxes. This means that overall, the impact of taxes depends more on household characteristics. This result could be expected, as taxes directly impact households, or companies, and the tax base is often determined by such characteristics.

The application of the grid to the French budget brought out 10 climate and social hotspots, i.e., climate-related budget items that have significant social impacts. These items are characterised by high amounts – all over €1bn – and impacts on several social dimensions.

Budgetary expenditure

- 1). Financial support for electric renewable energy in mainland France, which includes wind, solar and bioenergy;
- 2). Railway investments, including infrastructure investments and subsidies to the SNCF (National Company of French Railways);
- 3). Financial support to households for energy-efficiency renovation work in housing;
- 4). Subsidies to reduce energy prices in non-interconnected areas, as a solidarity mechanism.

Tax expenditure

- 5). Reduced TICPE rate for non-road diesel, heavy fuel oil and liquefied petroleum gas used for agricultural and forestry work;
- 6). Reduced VAT rate (5.5%) for energy-efficiency work in housing completed more than two years ago, and inextricably linked work;
- 7). Reduced TICPE rate for diesel used as fuel by road freight vehicles of at least 7.5 tonnes.

Taxes

- 8). Domestic consumption tax on energy products (TICPE);
- 9). Domestic tax on the final consumption of electricity (TICFE);
- 10). Domestic consumption tax on natural gas (TICGN).

Other expenditure items also have significant social impacts:

- Development aid expenditure includes 11 budget items, which together amount to €1,6bn.

- Within the recovery plan, three budget items – thermal renovation, green infrastructure and mobility, and green energy and technology – have substantial climate and social impacts and amount between €0,9bn and €3bn.
- TICPE exemptions for certain overseas territories amount to €1,7bn.

These expenditures all comprise several budget items, which is why they are reported separately. Addressing precisely these expenditures would require carrying out the same climate and social analysis at their level with disaggregated data.

The results of the French case study show that a large share of climate-related budgetary measures also have social impacts, reinforcing the relevance of the cross-analysis of climate and social impacts. However, these results should be regarded as intermediate results, as they cannot *per se* be translated into practical actions, and further analysis is required to draw policy recommendations (see section 4.2.2 and 4.3).

4. Discussion & policy recommendations

4.1. Potential improvements to the grid

4.1.1. *Extending the scope*

The analysis grid includes five social indicators and six intensification factors. However, budget items could impact other social dimensions as well. For instance, education was excluded from the analysis, because impacts on education were often side effects of other social impacts and not direct impacts of budget items. An example is how climate change finance in agriculture, by increasing incomes and reducing workloads, especially for women, can boost education enrolment (Ministry of Agricultural, Land Management and Cooperatives – Nepal, 2018). Furthermore, inequality was considered only in relation to income inequality, although every social dimension can exacerbate inequalities. For instance, health inequality, inequality in employment and education opportunities, or inequalities in access to infrastructure and basic services, are all significant social impacts (Observatoire des inégalités, 2019).

Moreover, the analysis is limited to climate mitigation and adaptation objectives, although many studies point out fiscal policies' impacts on other environmental objectives such as water resources management and biodiversity. The scope of the analysis was limited to the prevailing environmental and social dimensions to be able to study them in greater depth but completing the grid with other dimensions would be of great value.

In addition, the inclusion of adaptation measures in the analysis grid raised some issues and would benefit from further refinement, as all adaptation measures have social impacts in the sense that they improve overall living conditions, and most social measures contribute to adaptation: adaptation is closely linked to the social indicators "health" and "access to basic needs and services". Adaptation measures are of two types: new expenditure items related to the adaptation process only, and increased expenditure to integrate adaptation into existing expenditure items. The analysis grid includes all measures from the first category, and part of the measures from the second one, which are directly linked to changing living conditions and require specific action. For instance, investments to build protective infrastructure to adapt to sea level rise were included (Hallegatte *et al.*, 2017), but economic diversification measures in mountain economies are not. This methodological choice was necessary to limit the scope of the analysis.

Finally, the analysis grid is applicable – and to some extent adapted – to the French budget. Some measures may not match other countries' budget lines perfectly. The grid requires some adjustments to fit different national contexts.

4.1.2. *Improving the filter selectivity*

In addition to the scope of the analysis grid, it is relevant to question the depth of its detail as well. The results of the French case study highlighted that 82.7% of climate-related budgetary expenditure and 100% of taxes and tax expenditure can have social impacts. Moreover, 90% of all climate-related budget items can have health impacts. These figures may seem high, which is partly due to the level of aggregation of budgetary data, but also raises the question of whether the analysis grid is a sufficiently selective filter. For instance, it may be relevant and desirable to divide the health indicator into different health impact drivers to further disaggregate the data and results.

Similarly, the TICPE alone accounts for 53% of taxes that may have climate and social impacts. It comprises many different tax rates and

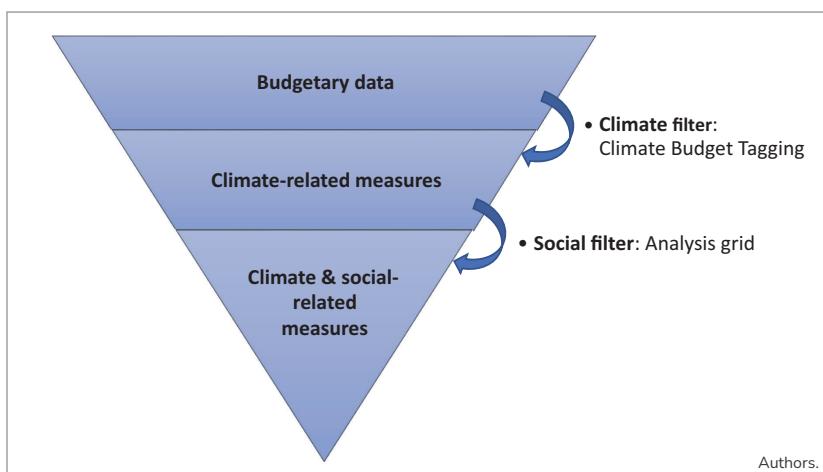
bases, and having disaggregated data on these various components of the tax would enable a far more accurate analysis of the social impacts.

4.2. Learnings and implications for countries applying the grid

4.2.1. Use of the grid and prerequisite

The analysis grid aims to enable any country or government agency that has already carried out a CBT exercise to add social considerations to its budget tagging. The purpose is to apply it to public budgets as a social filter, in addition to the climate filter, to bring to light the climate and social hotspots within budgets (Figure 12). It is intended to be a universal tool, usable by all countries.

Figure 12. Outline of the climate and social analysis process



The primary prerequisite is the fulfilment of a CBT exercise. However, CBT can present gaps and shortcomings, in terms of either the environmental dimensions analysed or the types of budget items, both of which affect the analysis of social impacts. In the case of the French budget, the chosen scope of earmarked taxes is not the most relevant one to analyse, and the inclusion of adaptation can be heavily criticised, with many questionable items (Depoues, 2020).

In addition, the robustness and precision of the analysis relies on the availability of government budget data. A lack of data can lead to over-estimating some impacts, as shown by the French case study.

Disaggregated and openly accessible data is needed to allow non-governmental parties to carry out robust studies. This is as much a matter of budget management and monitoring as it is of transparency.

4.2.2. *A first step in the joint climate and social assessment of public budgets*

The analysis grid is intended as a generic diagnostic tool. It highlights climate and social hotspots, but the co-impacts are not oriented, let alone quantified. Moreover, the social impacts identified are only potential impacts. The actual social effects of a measure are highly context-dependent and can be specific to each country. Determining these effects requires conducting further research at the country level and specific impact assessments. The climate and social hotspots can offer a starting point for further analysis.

Moreover, it would be valuable to assess whether the climate and social impacts are taken into consideration in budgetary processes, and if they are not, then to improve these processes. The analysis grid needs to be integrated within budget-making processes, to ensure that it is carried out and its benefits are used. Some further steps to enhance the consideration of climate and social issues in processes are detailed below for the French budget.

4.3. Further analysis of the French budget

Taking into account the previous discussion and the results of the French budget analysis, several next steps have to be carried out to gain further insights into the French budget's climate and social impacts.

- The French CBT exercise needs to be improved: its scope could be extended, and the analysis refined. Disaggregating some budget items such as the TICPE would prove very useful (see section 4.1). This requires improving budget data monitoring and transparency.
- Impact assessments of the 10 hotspots identified could be carried out, to precisely identify their climate and social effects in the French context and highlight the budget items that provide co-benefits.
- Assessing budget making processes, in particular the extent to which climate and social impacts are taken into account in budgeting, is a key step that would allow to enhance the consideration of these impacts in processes.

- Identifying levers to mitigate adverse side effects and enhance co-benefits would also improve the integration of climate and social issues in budget processes
 - First, it would help to distinguish between trade-offs that can easily become synergies and trade-offs that cannot be overcome.
 - Second, the French case study showed that most climate-related budget items may have social impacts. For the analysis grid to be an effective decision-making tool, these impacts must be prioritised. The availability of levers to either mitigate or enhance impacts is a key prioritisation criterion, which can be used as an additional filter to select the most relevant budget items and refine the identification of hotspots.

Analyses of policy levers and budget making processes to complement this study, as well as an in-depth case study of the French budget, are underway and will be published early 2022 by I4CE.

5. Conclusion

This study contributes to the joint integration of climate and social issues in public budget-making processes by adding social tagging to CBT exercises. CBT is used as an analytical framework to conduct the cross-analysis of fiscal policies' climate and social impacts.

Five main social indicators impacted by climate-related budget items were identified: income inequality, poverty and income, employment, health, and access to basic needs and services. In addition, six intensification factors that influence how people are affected by these budget items are distinguished: income level, living in an urban or rural area, job sector, gender, age, and household characteristics. Overall, 100 budgetary measures were identified as having both climate and social impacts.

An analysis grid that enables governments to assess the climate and social co-impacts of their budget was developed. The grid is intended to be applied to public budgets following a CBT exercise. It gathers a wide range of data on the climate and social impacts of fiscal policies.

The application of the analysis grid to the French 2021 draft finance bill post-CBT showed that most climate-related budget items may have social impacts. It highlighted the most impacted social indicators and the main intensification factors in the French context and brought out 10 climate and social hotspots

Nevertheless, this study is only a first step in the joint consideration of climate and social impacts within budgetary processes and needs to be complemented by further research. The analysis grid could be extended and completed with new literature. In addition, impact assessments and analyses of budget levers and processes are required to improve the analysis of hotspots and strengthen the integration of climate and social issues into budgeting. A further study that addresses these shortcomings and complements the French budget case study will be published in early 2022.

References

- AFITF (2021) *Rapport d'activité de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France pour l'exercice 2020*. [Activity report of the Agence de financement des infrastructures de transport de France for the year 2020.] [Online]. Available from: <http://www.afitf.net/rapport-d-activité-pour-l-exercice-2020-a286.html>.
- Berry, A. (2019). The distributional effects of a carbon tax and its impact on fuel poverty: Amicrosimulation study in the French context. *Energy Policy*, 124, 81-94.
- Borenstein, S. & Davis, L.W. (2016) The Distributional Effects of US Clean Energy Tax Credits. *Tax Policy and the Economy*. [Online] 30 (1), 191–234. Available from: doi:10.1086/685597.
- Bowen, T., del Ninno, C., Andrews, C., Coll-Black, S., et al. (2020) *Adaptive Social Protection: Building Resilience to Shocks*. [Online]. Washington, DC: World Bank. Available from: doi:10.1596/978-1-4648-1575-1.
- Carbon Market Watch (2021) The Phantom Leakage - Industry windfall profits from Europe's carbon market 2008-2019. *Carbon Market Watch*. [Online]. Available from: <https://carbonmarketwatch.org/publications/the-phantom-leakage/>.
- CGDD (2019) Prime à la conversion des véhicules particuliers en 2018: une évaluation socio-économique ex-post. [Conversion bonus for passenger cars in 2018: an ex-post socioeconomic evaluation.]. *THEMA CGDD*.

- Depoues, V. (2020) L'adaptation dans le budget de l'État. [Adaptation in the state budget.]. *I4CE*. [Online]. Available from: <https://www.i4ce.org/download/ladaptation-dans-le-budget-de-letat-climat/>.
- Douenne, T. (2020) The Vertical and Horizontal Distributive Effects of Energy Taxes: A Case Study of a French Policy. *The Energy Journal*. [Online] 41 (3). Available from: doi:10.5547/01956574.41.3.tdou.
- Durrmeyer, I. (2018) *Winners and Losers: The Distributional Effects of the French Feebate on the Automobile Market*. [Online]. Available from: <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient->.
- FAO & UNEP (2020) *The State of the World's Forests*. [Online]. FAO and UNEP. Available from: doi:10.4060/ca8642en.
- Fay, M., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rozenberg, J., et al. (2015) *Decarbonizing Development*. [Online]. Washington, DC: World Bank. Available from: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21842>.
- Fetet, M., Perrier, Q. & Postic, S. (2019) *A first 360-degree climate assessment of France's State budget*. [Online]. Available from: <https://www.i4ce.org/download/a-first-360-degree-climate-assessment-of-frances-state-budget/>.
- Government of New Zealand (2019) *The Wellbeing budget 2019*. [Online]. Available from: <https://www.treasury.govt.nz/sites/default/files/2019-05/b19-wellbeing-budget.pdf>.
- Hallegatte, S., Rentschler, J. & Rozenberg, J. (2019) *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. [Online]. Washington, DC: World Bank. Available from: doi:10.1596/978-1-4648-1430-3.
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M. & Rozenberg, J. (2017) *Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters*.p.27.
- I4CE (2020) Evaluation climat des budgets des collectivités territoriales?: synthèse. [Climate assessment of local authority budgets: summary.]. *I4CE*. [Online]. Available from: <https://www.i4ce.org/download/evaluation-climat-des-budgets-collectivites-territoriales/>.
- I4CE (2015) *Exploring the EU ETS beyond 2020, A first assessment of the EU Commission's proposal for Phase IV of the EU ETS (2021-2030), COPEC Research Program: Coordination of EU policies on Energy and CO2 with the EU ETS by 2030*.
- IGF (2019) *Green Budgeting?: Proposition de méthode pour une budgétisation environnementale*. [Green Budgeting: A proposed method for environmental budgeting.]. [Online]. Available from: http://www.igf.finances.gouv.fr/files/live/sites/igf/files/contributed/IGF%20internet/2.RapportsPublics/2019/2019-M-015-03_Green%20Budgeting.pdf.
- International Labour Organization (2013) *ILC 2013-Conclusions of the Committee on Sustainable Development, Green Jobs and Decent Work*. [Online]. Available from: <https://apgreenjobs.ilo.org/resources/ilc-2013-conclusions-of-the-committee-on-sustainable-development-green-jobs-and-decent-work>.

- International Monetary Fund (2001) *Manual on fiscal transparency*. Washington, D.C, International Monetary Fund, Fiscal Affairs Dept.
- International Monetary Fund (2007) *Manual on Fiscal Transparency*. [Online]. Available from: <https://www.imf.org/en/Publications/Manuals-Guides/Issues/2016/12/31/Manual-on-Fiscal-Transparency-2007-20556>.
- Jansen, J. (2020) *Inventory of Building Blocks and Country Practices for Green Budgeting*.p.63.
- Just Transition Initiative (2020) *Just Transition Concepts and Relevance for Climate Action*. [Online]. Available from: <https://www.csis.org/analysis/just-transition-concepts-and-relevance-climate-action>.
- Keeley, B. (2015) *Income Inequality: The Gap between Rich and Poor*. [Online]. Available from: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/income-inequality_9789264246010-en.
- Kołodziejski, M. (2021) *Just Transition Fund*. [Online]. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/214/just-transition-fund-jtf>
- Lecuyer, O. & Postic, S. (2020) "Green budgeting": paths to creating real added value. *ID4D*. [Online]. Available from: <https://ideas4development.org/en/green-budgeting-paths-real-added-value/>.
- Marchán, E., Espinasa, R. & Yépez-García, A. (2017) *The Other Side of the Boom: Energy Prices and Subsidies in Latin America and the Caribbean during the Super-Cycle*. [Online] Available from: <http://publications.iadb.org/handle/11319/8650>.
- Markkanen, S. & Anger-Kraavi, A. (2019) Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality. *Climate Policy*. [Online] 19 (7), 827–844. Available from: doi:10.1080/14693062.2019.1596873.
- Ministry of Agricultural, Land Management and Cooperatives - Nepal (2018) *Impact of Climate Change Finance in Agriculture on the Poor*. [Online]. Available from: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/UNDP_NP-Impact-of-Climate-Change-Finance-in-Agriculture-on-the-Poor.pdf.
- Mukherjee, A., Beloe, T., Baboyan, K., Manda, J., et al. (2014) *Incorporating Gender and Poverty Analysis in the Climate Public Expenditure and Institutional Review: A Methodological Note*. 44.
- Neuhoff, K., Bach, S., Diekmann, J., Beznoska, M., et al. (2013) Distributional Effects of Energy Transition: Impacts of Renewable Electricity Support in Germany. *Economics of Energy & Environmental Policy*. 2 (1), 41–54.
- Observatoire des inégalités (2019) *Rapport sur les inégalités en France*. [Report on inequalities in France].
- OECD (2021a) *Glossary of Tax Terms*. [Online]. 2021. Available from: <https://www.oecd.org/ctp/glossaryoftaxterms.htm#T>.

- OECD (2018) *Green budgets, a primer*.
- OECD (2021c) *OECD scan of equality budgeting in Ireland: Equality mainstreaming and inclusive policy making in action*. *OECD Journal on Budgeting*, 21(1). Available from: doi.org/10.1787/80b7b9a5-en.
- OECD (2020) *Paris Collaborative on Green Budgeting: Using the tools of budgetary policy-making towards the implementation of SDGs* - OECD. [Online]. 2020. Available from: <https://www.oecd.org/gov/budgeting/paris-collaborative-on-green-budgeting-hlfp-side-event-july-2018.html>.
- OECD (2021b) *The inequalities-environment nexus: Towards a people-centred green transition*. [Online]. 2021/01. Available from: doi:10.1787/ca9d8479-en.
- OFCE (2019) Gilets Jaunes: Is the Energy Transition Possible while still Reducing Inequality? *OFCE le blog*. [Online]. Available from: <https://www.ofce.sciences-po.fr/blog/gilets-jaunes-is-the-energy-transition-possible-while-still-reducing-inequality/>.
- Observatoire National de la Précarité Energétique. (2018). Identification et qualification des ménages éligibles aux dispositifs nationaux, et mise en regard avec les ménages bénéficiaires. [Identification and qualification of households eligible for national schemes, and comparison with beneficiary households.]. ONPE.
- Pacte du pouvoir de vivre (2019) *Pour un budget du pouvoir de vivre*. [For a living power budget.]. [Online]. 2019. Available from: <https://www.pactedupouvoirdevivre.fr/pour-un-budget-du-pouvoir-de-vivre/>.
- Perrier, Q. & Vandon, A. (2021) *Climate: a look back at 10 years of French government spending*. [Online]. Available from: <https://www.i4ce.org/download/climate-a-look-back-at-10-years-of-french-government-spending/>.
- Redouin, J.P., Baietto-Beysson, S. & Chapelon, J. (2014) *Financement des travaux de rénovation thermique par les ménages modestes*. [Financing of thermal renovation work by low-income households.]. [Online]. Available from: <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/144000358.pdf>.
- République française (2020) *Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'Etat*. [Report on the environmental impact of the State budget.]. [Online]. Available from: <https://www.economie.gouv.fr/budget-vert-france-1er-pays-monde-mesurer-impact-budget-etat-environnement>.
- The Shift Project (2021) *Pouvoir voler en 2050 : quelle aviation dans un monde contraint ?*. [Being able to fly in 2050: what aviation in a constrained world?]. [Online]. Available from: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/12/TSP_AVIATION_RAPPORT_211116.pdf.
- United Nations (2015) *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs*. [Online]. 2015. Available from: <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>.

- United Nations Development Program (2015) *A methodological guidebook?: climate public expenditure and institutional review (CPEIR)*. [Online]. Available from: https://www.undp.org/content/dam/rbap/docs/Research%20&%20Publications/democratic_governance/RBAP-DG-2015-CPEIR-Methodological-Guidebook.pdf.
- Ürge-Vorsatz, D., Herrero, S.T., Dubash, N.K. & Lecocq, F. (2014) Measuring the Co-Benefits of Climate Change Mitigation. *Annual Review of Environment and Resources*. [Online] 39 (1), 549–582. Available from: doi:10.1146/annurev-environ-031312-125456.
- Wang, Q., Hubacek, K., Feng, K., Wei, Y.-M., et al. (2016) Distributional effects of carbon taxation. *Applied Energy*. [Online] 184, 1123–1131. Available from: doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.083.
- World Bank (2021) *Climate Change Budget Tagging: A Review of International Experience*. [Online]. World Bank. Available from: doi:10.1596/35174.
- World Bank (2020) *Poverty and Shared Prosperity*. [Online]. Available from: <https://www.worldbank.org/en/publication/poverty-and-shared-prosperity>.
- World Bank (2019) Using Carbon Revenues. [Online]. Available from: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32247> [Accessed: 6 April 2020].
- Zinecker, A., Sanchez, L., Sharma, S. & Beaton, C. (2018) *Accelerating energy access through fossil fuel subsidy reform*. 30.

QUELQUES PISTES POUR CONCILIER DES OBJECTIFS SOCIAUX, ÉCONOMIQUES ET ÉCOLOGIQUES

Laure Baratgin

CIRED, École des Ponts, Nogent-sur-Marne ; LMD, Palaiseau

Emmanuel Combet¹

Ademe, Montrouge

Un tour d'horizon de la littérature sur la valorisation du carbone met en lumière les difficultés à concilier des objectifs écologiques, économiques, sociaux et politiques. Ces difficultés, inhérentes au renforcement de la politique climatique, expliquent en grande partie les échecs répétés de la fiscalité carbone en France. Nous dégageons de cette littérature trois enjeux prioritaires pour fonder une politique de conciliation. Il s'agit, premièrement, de traiter de l'évolution globale des finances publiques ; deuxièmement, de négocier un système d'accompagnement transitoire des ménages et des entreprises les plus vulnérables à court terme ; enfin, pour l'adhésion et l'engagement, d'inscrire l'ensemble de ces réflexions au sein de discussions collectives, qui associent l'ensemble des parties prenantes à la co-construction d'un contrat social de transition écologique.

Mots clés : valeur du carbone, efficacité et équité, acceptabilité et adhésion, politiques de conciliation, gouvernance.

En 2019, la Commission Quintet s'est attachée à calculer l'ordre de grandeur de la valeur qui devrait chaque année être associée à l'émission d'une tonne de CO₂ pour permettre d'atteindre l'objectif français de neutralité carbone en 2050. Cette « valeur de l'action pour le

1. Les propos exprimés dans cet article n'engagent que les auteurs. Les auteurs ont bénéficié du soutien de l'Ademe et de la Chaire Énergie et prospérité sous l'égide de La Fondation du risque. Ils remercient Patrick Jolivet, Gaël Calloncet et Hervé Gouédard de la Direction exécutive prospective et recherche de l'Ademe, les participants du séminaire Ademe « Valeur du carbone équitable » (2020-2021), ainsi que deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions.

climat » correspond au coût marginal d'abattement du CO₂, c'est-à-dire le coût en deçà duquel toute action permettant de réduire une tonne de CO₂ devrait être entreprise (France stratégie, 2019). En pratique, tout un ensemble de politiques et mesures visent à accroître la valeur du carbone que perçoivent les acteurs économiques : prix du carbone (fiscalité incitative ou marché de permis d'émissions échangeables), réglementations, normes, subventions, etc.

Il est difficile de mesurer précisément la valeur du carbone instituée aujourd'hui en France par l'ensemble de ces politiques. Toutefois, la valeur du carbone ressentie aujourd'hui par les acteurs économiques est en tout cas très en deçà de la valeur requise. Selon une évaluation réalisée par l'Agence de la transition écologique pour le Haut conseil pour le Climat (ADEME, 2020), sans nouvelle mesure, la France dépassera à minima de 46% ses objectifs d'émission en 2050².

La Commission Quinet estimait quant à elle que la valeur de l'action pour le climat serait aujourd'hui autour de 55€/tCO₂, alors qu'elle devrait atteindre 250€ dès 2030. Les politiques publiques des prochaines années devront donc parvenir à rapprocher la valeur effective du carbone (instituée dans l'économie) de cette valeur cible (tutélaire).

Par un tour d'horizon de la littérature, qui s'attache à décrire les différentes facettes des instruments de valorisation du carbone, nous souhaitons souligner l'enjeu de la conciliation des dimensions écologiques, socioéconomiques et politiques, en partant de l'hypothèse que le blocage au relèvement de la valeur du carbone vient de la difficulté à construire une politique cohérente de compromis. Nous souhaitons également dégager de cette littérature quelques pistes pour construire des politiques de conciliation pour les prochaines décennies. Nous illustrons ce propos en mobilisant en particulier les enseignements du « dossier de la taxe carbone », riche d'expériences historiques et de nombreux travaux d'expertises.

Dans la première partie, nous revenons sur la difficulté de concilier les dimensions écologiques, socioéconomiques et politiques, difficulté que nous identifions comme l'obstacle majeur au renforcement de la valeur du carbone. Dans la seconde partie, nous montrons comment le renforcement de la valeur du carbone peut s'intégrer dans un réajuste-

2. Résultat obtenu sous l'hypothèse optimiste que toutes les mesures prévues par la Stratégie nationale bas carbone soient déployées avec succès.

ment d'ensemble des finances publiques et pourquoi cet élargissement semble nécessaire. Dans la troisième partie, nous nous intéressons aux dispositifs de compensation des effets redistributifs de la valeur du carbone et insistons sur l'importance de leur ciblage et de leur caractère transitoire. Enfin, nous concluons sur l'enjeu de la mise en place d'une gouvernance appropriée pour fonder un contrat social de transition.

1. Concilier équité, efficacité et adhésion

En France, quatre tentatives de mise en place d'une taxe carbone ou de relèvement de son taux se sont heurtées à des oppositions majeures au cours des trois dernières décennies : proposition d'une taxe mixte européenne sur l'énergie et le carbone en 1992, proposition du gouvernement Jospin d'étendre la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) aux consommations intermédiaires d'énergie des entreprises en 2000, proposition d'une contribution climat-énergie (CCE) en 2009 et enfin en 2019, à la suite du mouvement des Gilets jaunes, renoncement du gouvernement Philippe à toute nouvelle hausse de la composante carbone mise en place en 2014. On retrouve à chaque fois deux arguments majeurs à l'encontre de cette taxe : la crainte d'un impact négatif sur les coûts de production et la compétitivité des entreprises – se propageant en s'amplifiant à l'ensemble de l'économie – et celle d'un impact négatif sur les ménages pauvres et les inégalités (Ekins et Speck, 1999). Ces craintes ne sont pas propres à la taxe carbone, elles concernent aussi les réglementations et normes (Claeys *et al.*, 2018 ; Johnstone et Serret, 2006). L'opposition à ces mesures se nourrit également d'autres facteurs : une faible croyance en l'efficacité d'une taxe carbone (37 % des personnes interrogées par Douenne et Fabre (2022) estiment qu'elle « est inefficace pour réduire la pollution »), un manque de confiance envers le gouvernement (43 % la considèrent comme « un prétexte pour augmenter les impôts »), une adhésion fragile à l'impôt (Spire, 2018). Le Conseil constitutionnel a également censuré les projets de 2000 et 2009 au motif d'une inadéquation des moyens aux objectifs et d'une rupture de l'égalité devant les charges publiques (Godard, 2010).

La multiplicité de ces motifs d'opposition témoigne de la pluralité des conditions pour une politique écologique réussie : une politique qui bénéficie d'une large adhésion politique et qui parvient à concilier au mieux la réduction effective des atteintes à l'environnement avec la

minimisation des coûts et la maximisation des bénéfices économiques et sociaux.

Quatre critères utilisés dans les évaluations des politiques d'atténuation du changement climatique (IPCC, 2007) peuvent être mobilisés pour appréhender ces conditions de réussite : l'effectivité environnementale, l'efficacité économique, l'équité et la faisabilité.

— **Effectivité** : la politique que l'on souhaite mettre en œuvre doit permettre d'atteindre les objectifs de réduction d'émissions visés. Autrement dit, le renforcement de la valeur du carbone doit être suffisant et effectivement déployé ;

— **Efficacité** : la politique doit permettre d'atteindre l'objectif politique de réduction d'émissions au moindre coût économique et social pour la collectivité ;

— **Équité** : la politique doit respecter un jugement éthique partagé sur la juste distribution de ces conséquences entre les ménages (pauvreté et inégalités) et entre les entreprises (inégalités entre secteurs d'activité, risques pour la compétitivité) ;

— **Faisabilité** : la politique doit pouvoir être mise en œuvre en tenant compte de la faisabilité politique (adhésion, pas de blocage d'un groupe d'acteurs) et de la faisabilité pratique (capacité d'administration, simplicité, conformité juridique, etc.).

Pour articuler au mieux ces critères, une étape de conciliation est nécessaire.

Conciliation : un processus de négociation collective est requis lorsque ces critères ne peuvent être améliorés simultanément ou dans des proportions suscitant un consensus spontané. La qualité de l'arbitrage dépend à la fois de la qualité de l'information mobilisée pour faire des choix éclairés et de la qualité du processus politique (pour éviter que la décision ne soit prise en otage par des intérêts particuliers ou n'oublie des minorités). Les meilleures politiques de conciliation sont celles qui maximisent les synergies entre ces critères (les co-bénéfices) et qui instituent les meilleurs compromis.

Un tour d'horizon de la littérature documente la difficulté d'articuler ces quatre objectifs en pratique. Considérons trois exemples pour introduire cet enjeu majeur de conciliation.

Premièrement, la littérature du « double dividende » (Chiroleu-Assouline (2001) pour une revue de la littérature sur le sujet) montre que le coût global d'une fiscalité carbone est moindre si les recettes de

la taxe sont utilisées pour baisser d'autres prélèvements qui pèsent sur l'activité et l'emploi (Goulder, 2013). Mais les analyses menées avec des modèles comportant plusieurs classes de ménages montrent que recycler les recettes de la taxe en une diminution uniforme d'autres prélèvements – qu'il s'agisse de cotisations sociales, d'impôts sur le revenu ou d'impôts sur les sociétés – risque de creuser les inégalités de revenu, même si cela réduit la pauvreté, car un tel dispositif profite davantage aux ménages les plus aisés. À l'inverse, redistribuer l'intégralité de ces recettes aux ménages sous forme d'un même montant forfaitaire par unité de consommation réduit les inégalités moyennes entre déciles de revenus mais avec un coût d'opportunité – puisque la hausse des coûts de production n'est pas compensée –, ce qui nuit à l'économie globale (Combet *et al.*, 2010b, 2019 ; Goulder *et al.*, 2019 ; Rausch *et al.*, 2011). Un compromis doit être trouvé entre efficacité et équité dans le choix d'usage des recettes de la taxe, compromis qui dépend de l'aversion aux inégalités et du contexte macroéconomique (Proost et Van Regemorter, 1995).

Deuxièmement, l'information imparfaite des administrations publiques limite leur capacité à articuler en pratique équité et efficacité (Drèze et Stern, 1987 ; Stiglitz, 2019). Dans le cas qui nous occupe, la forte asymétrie d'information entre ces administrations et les millions d'acteurs privés qui sont à la source des émissions diffuses (entreprises et ménages) est au fondement de l'argument classique de l'efficacité d'un prix unique puisque, dans une économie de marché, ces acteurs sont incités à sélectionner eux-mêmes les solutions dont ils disposent pour réduire les émissions. Les administrations publiques se contentent de fixer le niveau du signal-prix qui guidera les acteurs dans leurs choix de solutions. La solution idéale de « premier rang » consiste à fixer le bon niveau de prix tout en gérant par ailleurs les questions d'équité à l'aide de transferts monétaires. Cette stratégie a de nouveau été recommandée par la commission Blanchard-Tirole (Blanchard *et al.*, 2021). Mais Stiglitz (2019) rappelle que l'information imparfaite des autorités publiques limite aussi leur capacité à gérer de façon satisfaisante la redistribution et l'équité. Ce qui amène l'auteur à défendre que la solution de premier rang est inaccessible et qu'il serait nécessaire, pour concilier équité, efficacité et faisabilité, de déroger au principe d'un prix unique complété d'une redistribution.

Troisièmement, la faisabilité politique. L'économie comportementale a mesuré l'attitude variable d'individus vis-à-vis de la taxe et de ses modalités. Dans des pays comme la France, caractérisés par une

grande défiance à l'encontre des pouvoirs publics et d'importants doutes de l'opinion quant à l'effectivité environnementale d'un signal-prix, les enquêtes réalisées documentent une attitude plus favorable de la population pour une taxe dont les recettes seraient redistribuées sous forme de transferts forfaitaires ou bien affectées au financement d'investissements publics dans des alternatives décarbonées de chauffage et de mobilité (Carattini *et al.*, 2018 ; Kotchen *et al.*, 2017). Il existe donc un écart de perception entre la population et les experts en économie publique qui évaluent que ces usages des recettes ne sont pas les meilleurs : si celles-ci sont utilisées pour financer la transition, elles ne sont plus disponibles pour atténuer les coûts du renchérissement de l'énergie et les effets redistributifs de court terme. Cet écart ne reflète pas des préférences stables et bien formées : les déclarations des personnes enquêtées expriment en partie des croyances erronées (Douenne et Fabre, 2022) et un déficit d'informations et de connaissances (Maestre-Andrés *et al.*, 2021).

Ces trois exemples illustrent le fait que les quatre critères d'effectivité, d'efficacité, d'équité et de faisabilité interagissent et ne peuvent être traités séparément. Le problème consiste à trouver une voie de conciliation intermédiaire entre deux stratégies polaires insatisfaisantes. D'un côté, une stratégie de premier rang visant à faire accepter *la* solution d'un prix unique du carbone croissant dans le temps associé à des transferts monétaires vers les acteurs les plus affectés. De l'autre, une stratégie de faisabilité politique « à tout prix » qui délaissé des connaissances solides et choisit de retenir une politique plus coûteuse mais plus facile à « faire passer ». Nous pouvons dégager de la littérature trois directions pour construire de meilleures politiques de compromis : discuter de l'évolution globale des finances publiques (section 2) et du renforcement de l'accompagnement des plus vulnérables (section 3) pour trouver le meilleur équilibre entre effectivité, efficacité et équité et améliorer les modalités de gouvernance et de construction de l'adhésion (section 4) pour trouver le meilleur équilibre avec la faisabilité.

2. Réajuster les finances publiques

Les analyses d'économie publique, d'économie comportementale et de science politique montrent toutes que le bilan économique, social et politique d'une taxe carbone dépend fortement de l'usage de son revenu (Klenert *et al.*, 2018). Ce bilan dépend aussi des politiques

budgétaires et fiscales dans lesquelles la taxe s'insère : la structure et le niveau des prélèvements obligatoires (Combet, 2013), l'indexation des revenus et des transferts sociaux (Fullerton et Heutel, 2010), l'objectif de maîtrise des déficits publics (Carbone *et al.*, 2013 ; Fodha *et al.*, 2018 ; Rausch et Reilly, 2015), le financement de la protection sociale (Combet et Hourcade, 2014 ; Gonand, 2016). Il dépend également des modalités de régulation de la finance (Hourcade et Combet, 2017). Un réarrangement des finances publiques passant par l'ajustement simultané d'impôts et de dépenses publiques semble donc une condition nécessaire au renforcement de la valeur du carbone. Le rapport Rocard (2009) soulignait ainsi que la contribution climat-énergie était « une réforme considérable qui porte en germe une refonte de tout notre système fiscal ». La littérature renseigne sur les enjeux et les voies possibles d'un tel réajustement des finances publiques permettant d'atténuer le coût socioéconomique, de renforcer l'adhésion et d'assurer le financement de la transition écologique.

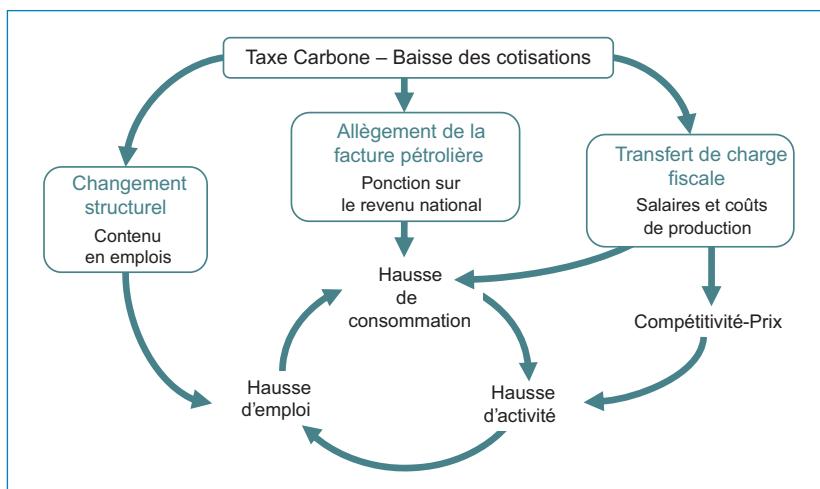
2.1. L'atténuation du coût macroéconomique en économie ouverte

Le GIEC (IPCC, 2001) faisait déjà une revue détaillée des simulations macroéconomiques qui analysaient les conditions dans lesquelles la valorisation du carbone peut s'accompagner d'un co-bénéfice économique (hypothèse du « double dividende » des économistes, où le « dividende » écologique, la réduction des émissions, s'accompagne d'un « dividende » économique). Il ressort de cette revue que les impôts à baisser diffèrent selon les pays en fonction des systèmes fiscaux en vigueur. En France, comme dans beaucoup de pays européens où le système de sécurité sociale est financé par des cotisations sociales, les meilleurs résultats sont obtenus par une réduction des prélèvements sur les salaires (Chiroleu-Assouline, 2001 ; Crassous *et al.*, 2009). Les simulations réalisées montrent qu'une substitution partielle et uniforme des cotisations sociales par la fiscalité carbone peut avoir un impact positif sur l'économie française : sur la balance commerciale, le PIB, l'emploi et la consommation des ménages (Callonec et Combaud, 2019 ; Combet, 2013).

L'intuition qu'il serait possible d'obtenir un co-bénéfice économique en « taxant les *bads* (la pollution) et détaxant les *goods* (le travail) » était déjà formulée dans le *Livre blanc* de la Commission européenne (1993) sur la compétitivité et l'emploi. Toutefois, les travaux théoriques menés dans les années 1990 ont montré que ce cercle

vertueux n'est pas automatique (Bovenberg, 1999 ; Goulder, 1995, 2013). Certaines conditions sont nécessaires, il faut notamment que la substitution partielle de la taxation du travail par une hausse de la taxation des énergies fossiles n'augmente pas globalement les coûts de production, ce qui est possible dans le contexte de la France mais nécessite des négociations sociales à différents niveaux (Hourcade et Combet, 2017).

Figure 1. Un cercle vertueux potentiel pour l'activité et l'emploi
(Hourcade et Combet, 2017)



Ce cercle vertueux potentiel combine trois effets. Premièrement, à court terme, cette substitution partielle de prélèvements obligatoires opère une réallocation de la charge fiscale favorable aux coûts de production. Ceci vient du fait que la taxe sur l'énergie est payée par l'ensemble des revenus, pas uniquement par les salaires. La baisse des prélèvements sur le travail peut donc plus que compenser la hausse des coûts de production énergétique et réduire les coûts de production en taxant les revenus de rentes financières et immobilières. Il existe un espace de compromis possible associant baisse des coûts de production et hausse des salaires nets (Combet *et al.*, 2010a). Deuxièmement, à moyen terme, la baisse des consommations d'énergies fossiles réduit la fraction des revenus nationaux qui sert à payer la facture pétrolière et la rend disponible pour consommer et investir. Enfin, la baisse du coût relatif du travail par rapport aux énergies fossiles crée un environnement économique favorable aux activités de la transition écologique.

Ces trois mécanismes sont favorables à la balance commerciale, la demande intérieure et l'emploi. Ce cercle vertueux potentiel s'avère robuste à de nombreux tests de sensibilités sur des paramètres incertains (Combet, 2013).

Parmi les arguments à l'encontre d'une telle substitution de prélèvements obligatoires, on trouve le fait que les bas salaires ont déjà bénéficié d'allègements de cotisations sociales patronales et, depuis 2013, du Crédit d'impôt compétitivité et emploi (CICE) au bilan mitigé (France stratégie, 2020). Même si le taux de cotisation moyen par salarié a été multiplié par 6 depuis les années 1960 (le chômage par 7), le taux actuel est autour de 4 % au niveau du SMIC contre 36 % à partir de 1,6 SMIC et 42 % à partir de 2,5 SMIC (DSS, 2020). Les marges pour poursuivre la baisse des cotisations patronales au niveau des bas salaires sont donc limitées. Pour qu'une telle mesure puisse bénéficier à l'embauche et à l'ensemble des salariés sans creuser les inégalités salariales, la réforme doit s'accompagner de négociations entre employeurs et salariés, afin de trouver un bon compromis entre progression des salaires, création d'emplois, et maîtrise des coûts de production. La qualité de ces négociations constitue une condition-clé de l'efficacité, l'équité et l'acceptabilité de la réforme, tant pour garantir une gestion paritaire renouvelée que pour déclencher le cercle vertueux potentiel et utiliser équitablement le « grain à moudre » qu'il procure aux négociations.

Ainsi, si la littérature théorique des années 1990 a atténué les espoirs d'obtenir un gain net économique en toutes circonstances, la littérature macroéconomique a toutefois montré qu'un double dividende « fort » pouvait être atteignable dans le contexte de la France. Même si un tel gain macroéconomique net reste incertain, la substitution de la fiscalité carbone à des prélèvements qui pèsent sur les coûts de production permet dans tous les cas d'atténuer la hausse des coûts énergétiques : elle est moins coûteuse qu'une redistribution forfaitaire directe aux ménages.

2.2. La cohérence de l'évolution des finances publiques pour l'adhésion

Si l'ajustement des finances publiques dans lequel s'insère la politique climatique est important pour atténuer le coût le celle-ci, la cohérence de cette évolution avec l'ensemble des objectifs affichés l'est aussi pour la faisabilité politique.

L'analyse historique montre que les projets de taxe carbone en France ont souffert de l'absence de discussions sur les politiques fiscales conduites simultanément, ce qui a nourri le sentiment de défiance envers le pouvoir politique et les administrations fiscales (Hourcade et Combet, 2017).

En 2000, le projet d'extension de la TGAP a été perçu comme un prétexte pour financer les allègements de cotisations. La Commission des finances du Sénat évoquait ainsi « l'inexorable montée en puissance de la TGAP » ou « comment trouver des recettes de poche pour financer les 35 heures »³. En 2009, le projet de CCE se télescopait avec la suppression de la taxe professionnelle qu'il fallait financer. En 2014, les recettes de la CCE mise en place finançaient en partie le CICE, et la lettre de mission adressée au président du Comité pour la fiscalité écologique chargé de mettre en place la taxe demandait explicitement que 3 milliards d'euros soient dégagés à l'horizon 2016 à cette fin (CFE, 2013). À la suite du mouvement des Gilets jaunes, Piketty (2019) avance que les 5 milliards de la hausse de la taxe carbone étaient destinés à financer la suppression de l'ISF.

Comme en témoignent ces exemples, la coïncidence des projets de taxe carbone ou de relèvement de son taux avec d'autres politiques fiscales a pu renforcer la suspicion de la population à l'égard des objectifs réels visés par les autorités fiscales. Des propositions ont été formulées pour accompagner la reprise de la hausse de la taxe carbone d'autres mesures fiscales cohérentes : une hausse des allocations logement (Trannoy, 2014), un revenu minimum universel (Perthuis et Faure, 2018), une taxation progressive du carbone et du capital associée à une taxe sur la valeur des actifs carbone (WIR, 2022).

Jusqu'ici, en France, la stratégie a plutôt été une stratégie de cloisonnement des sujets fiscaux (Ollivier-Trigalo, 2017) et d'invisibilisation des prélèvements (Spire, 2018) plutôt qu'une stratégie de construction d'un pacte fiscal renouvelé, qui requiert des négociations collectives et des efforts pour construire des compromis⁴. Si la Suède, qui a introduit une fiscalité environnementale bien acceptée dans le cadre d'une réforme fiscale globale dès 1991 (Sterner, 2020), est souvent citée en exemple, choisir la stratégie de l'adhésion à l'impôt et discuter de la cohérence des finances publiques ne suppose pas nécessairement un « grand soir » fiscal.

3. <http://www.senat.fr/commission/fin/tgap.html>

2.3. L'articulation avec le financement de la transition écologique

La logique pigouvienne de la taxe consiste à trouver les bons signaux-prix d'incitation à réduire les émissions. Cependant, la disponibilité d'investissements nécessaires pour développer des alternatives décarbonées accessibles aux ménages et aux entreprises constitue aussi une condition nécessaire pour l'efficacité, l'équité et l'acceptabilité d'une tarification du carbone incitative. Dans le cas contraire, la tarification est vécue comme une trop forte contrainte par ceux qui ne disposent que de trop rares ou trop coûteuses alternatives à l'usage des énergies fossiles et qui sont condamnés à court terme à voir leurs dépenses augmenter. Or, il y a aujourd'hui un important déficit des investissements réalisés pour le climat au regard des besoins, de l'ordre de 13 Md€ en 2019 selon I4CE (2021).

Le montant de ces investissements devra par ailleurs augmenter pour maintenir la France sur la trajectoire de la neutralité carbone. I4CE (2021) estime un besoin d'investissements climat annuel de 65 à 74 Md€ entre 2024 et 2028 contre 48 Md€ en 2019. Une articulation de la taxe carbone avec le déploiement de ces investissements est donc nécessaire. Les recettes de la fiscalité carbone – 8,2 Md€ en 2019 (Gouvernement, 2020) et de l'ordre de 20 Md€ pour une taxe de 100€/tCO₂ en 2030 (Guillou et Perrier, 2019) – ne suffisent cependant pas à financer la transition. L'écart se réduit mais ne se comble pas si l'on considère la suppression des dépenses fiscales défavorables à l'environnement (exonérations et taux réduits), qui sont estimées à 10,5 Md€ dans le projet de loi de finances pour 2020⁵. Utiliser les recettes pour financer la transition peut surtout entrer en contradiction avec les objectifs d'efficacité et d'équité, puisque ces recettes ne

4. En effet, lors de la conférence Rocard, en juillet 2009, les partenaires sociaux étaient d'accord pour discuter des prélèvements à baisser avec les recettes de la taxe carbone, mais dans le cadre d'une négociation plus générale sur les prélèvements obligatoires et l'assurance du maintien de la gestion paritaire de la protection sociale. Le rapport recommanda de créer « une commission de la contribution climat-énergie (CCE) qui ait compétence pour faire l'évaluation permanente du système, analyser son évolution, et faire toutes propositions nécessaires concernant les variations de son taux, les modifications possibles de son assiette, ou les mesures à prendre dans les domaines connexes pour assurer efficacement la transition énergétique. Cette commission devrait comprendre des fonctionnaires de l'État, des représentants des collectivités locales et des organisations syndicales ouvrières et patronales, ainsi que des experts indépendants ». Pourtant, en 2014, ce fut plutôt une stratégie d'invisibilité qui fut choisie, en introduisant la CCE dans les accises préexistantes sur l'énergie et, pour le faire de façon « indolore », en réduisant ces accises d'un même montant la première année. La hausse du taux fut ensuite votée en loi de finances jusqu'en 2018, sans véritable négociation.

5. À ces niches fiscales s'ajoutent des dépenses fiscales « implicites » dues à des taux plus bas pour certains combustibles fossiles. I4CE calcule une dépense fiscale de 2,5 Md€ pour le kérozène et de 3,5 Md€ pour le gazole en comparant à un taux équivalent à celui sur l'essence.

seraient alors plus disponibles pour compenser les effets socio-économiques à court et moyen termes du renchérissement des énergies fossiles (hausse des coûts de production, effets redistributifs indésirables). Enfin, les financements publics devront être accompagnés d'une redirection des investissements privés, qu'une tarification du carbone compensée et complétée d'un système de garanties publiques peut faciliter, en renforçant la profitabilité et en abaissant le risque des investissements bas carbone (Hourcade et Combet, 2017 ; Hourcade *et al.*, 2021).

En résumé, plusieurs dispositifs d'évolution des finances publiques sont envisageables mais leur articulation apparaît incontournable pour concilier efficacité, équité et adhésion politique. Les résultats d'économie publique décrivent les meilleures pistes pour trouver des compromis négociés entre l'incitation à réduire les émissions, la maîtrise des coûts de production, le niveau des impôts et de la dette publique, et le financement de la transition énergétique. Toutefois, le décloisonnement de ces sujets semble un préalable nécessaire.

3. Renforcer l'accompagnement des plus vulnérables

À côté des analyses macroéconomiques qui montrent que le coût global d'une taxe carbone est supérieur si ses recettes ne sont pas recyclées pour compenser les coûts de production, les analyses conduites à partir de données d'enquêtes auprès des ménages et des entreprises obtiennent qu'une taxe carbone non compensée a aussi des effets redistributifs indésirables. Des mesures d'accompagnement sont nécessaires pour obtenir un bilan satisfaisant pour les inégalités, la pauvreté et la compétitivité de certaines activités.

3.1. L'évidence de régressivité d'une taxe carbone non recyclée

En moyenne, même si les ménages modestes consomment moins d'énergie et contribuent moins à la taxe que les ménages plus aisés, ils consacrent une part plus importante de leur revenu aux dépenses énergétiques et subissent une baisse plus importante de leur pouvoir d'achat par l'effet direct du renchérissement de l'énergie. Une taxe carbone non recyclée est donc en première analyse régressive dans les modèles de microsimulation où les revenus sont exogènes (Parry *et al.*, 2006), ce qu'on retrouve avec les modèles appliqués à la France (Berry, 2018 ; Clément *et al.*, 2019 ; Douenne, 2020).

Douenne (2020) souligne toutefois que l'évidence de la régressivité de la taxe carbone dépend de la grandeur utilisée pour mesurer le « taux d'effort énergétique ». Rapportées au revenu, les dépenses consacrées à la taxe sont bien supérieures pour les bas revenus, mais rapportées aux dépenses totales des ménages, le taux d'effort apparaît relativement constant entre bas et hauts revenus. Cette différence, selon que l'on considère le revenu annuel ou le revenu au cours de la vie des ménages (*lifetime income*, estimé par leur niveau de consommation), était déjà mise en évidence par Poterba (1989).

Une seconde raison de l'évidence relative du diagnostic de régressivité de la taxe carbone est que les analyses de microsimulation ne sont pas conduites en équilibre général : elles ne tiennent pas compte des effets sur les coûts de production, les prix, les emplois et les revenus. Au-delà des seuls effets liés à l'usage des revenus (*use side effects*), les analyses distributives plus complètes tiennent compte des effets liés aux sources de revenus (*source side effects*) (Atkinson et Stiglitz, 2015 ; Fullerton, 2011), ce que permettent les analyses macroéconomiques comportant plusieurs classes de ménages. Rausch *et al.* (2011) et Goulder *et al.* (2019) trouvent ainsi que les effets redistributifs d'une taxe carbone non recyclée aux USA deviennent nuls voire légèrement progressifs : la progressivité des effets liés aux sources de revenu⁶ compensent la régressivité des effets liés à leur usage. En France, les études conduites avec ce type de modèle concluent que la taxe non recyclée reste régressive, notamment du fait que les transferts sociaux ne sont pas indexés sur les prix (Combet *et al.*, 2010b, 2). Les revenus de la taxe « non recyclée » réduisent les déficits publics sans que la variation de l'endettement du pays ait un effet majeur sur les acteurs économiques.

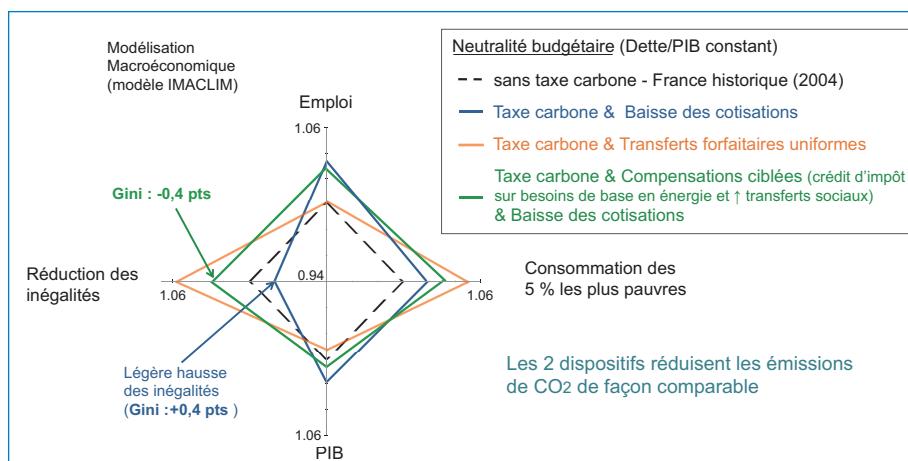
3.2. L'importance de limiter et cibler les transferts monétaires vers les ménages

En France, Hourcade et Combet (2017) évaluent qu'une taxe carbone non recyclée et sans exonération de 100€/tCO₂ aboutirait à une hausse des coûts de production 1,8 fois supérieure au surcoût énergétique initial. La restitution monétaire des recettes aux ménages a

6. La part des transferts sociaux est plus importante pour les bas revenus. Aux États-Unis, comme ces transferts sont davantage indexés sur l'inflation que les revenus du travail et du capital (Goulder *et al.*, 2019), le revenu des moins aisés augmente plus avec le prix de l'énergie et la taxe carbone que celui des plus aisés.

un coût d'opportunité puisque l'argent n'est plus disponible pour compenser la propagation de la hausse des coûts énergétiques des secteurs productifs amont aux secteurs d'activité aval. Mais des dispositifs de recyclage mixtes des recettes, combinant des transferts forfaitaires aux ménages avec des allégements de taxes distorsives (cotisations sociales notamment), offrent des marges de manœuvre pour un compromis entre efficacité et équité (Combet *et al.*, 2010b ; van der Ploeg *et al.*, 2021). Ces travaux soulignent l'importance de limiter et de cibler au maximum ces transferts sur les plus vulnérables pour consacrer l'essentiel des recettes à la maîtrise des coûts de production. Dans Combet *et al.* (2021), le dispositif qui présente le meilleur bilan global ne restitue aux ménages que les montants prélevés sur les achats d'énergie nécessaires à la satisfaction de besoins de base (transport domicile-travail et chauffage minimum) et consacre le reste des recettes de la taxe à des allégements de cotisations sociales (figure 2). L'amélioration de la situation macroéconomique procure d'autres recettes fiscales qui financent une hausse d'autres prestations sociales favorables à la réduction des inégalités.

Figure 2. Marges de manœuvre pour des compromis entre équité et efficacité
(Combet *et al.*, 2010b)



3.3. Le problème des « inégalités horizontales » non liées au revenu

Plusieurs études ont mis en évidence une très grande hétérogénéité de la consommation de chauffage et de carburant entre les ménages d'un même décile de revenu – selon la composition du ménage, son

type d'habitation, sa localisation géographique, le type de chauffage qu'il utilise, la distance à laquelle il habite du travail, etc. – montrant ainsi que l'incidence de la taxe pouvait être plus hétérogène au sein des groupes de revenu qu'entre eux (Cronin *et al.*, 2019 ; Douenne, 2020). L'importance de ces inégalités horizontales a aussi été soulignée pour l'identification des ménages en situation de pauvreté énergétique, un phénomène multifactoriel qui demande un important effort de ciblage puisque ces populations ne recoupent pas les populations pauvres habituellement suivies par les acteurs sociaux (Belaïd, 2018 ; Dubois, 2012). Les inégalités horizontales d'empreinte carbone sont importantes au sein de chaque décile de revenu : Pottier *et al.* (2020) estiment ainsi que plus de 25 % des ménages appartenant au 10 % les plus pauvres émettent plus que 25 % des ménages qui appartiennent aux 10% les plus riches.

3.4. Différenciation, ciblage et administration des compensations monétaires

Différentes modalités de redistribution forfaitaire directe aux ménages ont été étudiées pour voir comment l'usage des recettes de la taxe pouvait remédier à ces inégalités horizontales (Berry, 2018 ; Clément *et al.*, 2019 ; Douenne, 2019). À travers la diversité des schémas de redistribution envisagés, trois conclusions peuvent être tirées de ces simulations.

Premièrement, la diversité et la dispersion des facteurs déterminant les effets redistributifs empêchent une compensation exacte permettant d'annuler les effets de la réforme sur les inégalités. On retrouve ici le diagnostic de Stiglitz (2019) sur les limites d'information des administrations et la faisabilité pratique d'une gestion des questions d'équité par une politique de redistribution.

Deuxièmement, un dispositif de redistribution uniforme par unité de consommation, même s'il rend la réforme progressive en moyenne entre déciles de revenus, ne suffit pas à compenser la baisse de revenu de tous les ménages modestes, du fait de l'importance de l'hétérogénéité horizontale dans les premiers déciles (Douenne, 2019). Des transferts plus élevés pour les bas revenus, puis décroissants ensuite, permettraient de préserver le pouvoir d'achat de tous les ménages des premiers déciles et de réduire la précarité énergétique (Berry, 2018 ; Douenne, 2019), mais des ménages des classes moyennes resteraient perdants.

Troisièmement, des allocations tenant compte non seulement du revenu mais aussi d'un critère de localisation géographique permettent de réduire une faible partie des inégalités horizontales. La prise en compte d'autres critères serait souhaitable, mais plus complexe à mettre en place et à administrer (Bureau *et al.*, 2019 ; Clément *et al.*, 2019). La différenciation des transferts selon des critères corrélés au niveau de consommation d'énergie fossile et non conditionnés au déploiement d'alternatives bas carbone peut aussi affaiblir l'incitation à réduire les émissions, créer des niches et des effets d'aubaine (Bureau *et al.*, 2019).

Enfin, le dispositif d'accompagnement peut être différent selon l'objectif recherché. Par exemple, si l'on ne peut compenser complètement l'évolution des inégalités, on peut souhaiter simplement éviter les situations de pauvreté, assurer un accès abordable pour des besoins de base en énergie – comme le carburant des trajets domicile-travail (Clément *et al.*, 2019 ; Combet *et al.*, 2010a) –, ou bien tenir compte des différences d'alternatives disponibles et de capacités d'action pour réduire les émissions à court terme (Pottier *et al.*, 2020). Pour mettre en pratique ces principes, il faut néanmoins être en mesure d'identifier et de cibler des « ménages vulnérables » qui ne disposent pas des marges de manœuvre budgétaires suffisantes ou d'alternatives décarbonées accessibles, quel que soit leur niveau de revenu.

Aujourd'hui, les mesures d'aides aux ménages sont gérées de manière centralisée par l'État, essentiellement *via* le dispositif de « chèques énergie » administré par le ministère de la Transition écologique (CPO, 2019). Si l'on souhaite mieux tenir compte des disparités géographiques, techniques et sociodémographiques, la concertation et la collaboration entre l'État, les partenaires sociaux, les associations et les collectivités territoriales s'avèrent nécessaire pour améliorer l'accès à l'information, mieux identifier les ménages perdants, parvenir à un consensus sur le principe de compensations nécessaires et suffisantes et administrer un système d'aides différencier. Les coûts de recueil d'information et d'administration peuvent être réduits en mobilisant des dispositifs existants. Par exemple, l'Observatoire national de la précarité énergétique renforce déjà ces relations entre acteurs et contribue à améliorer l'identification des ménages vulnérables. Le projet de loi « 3D »⁷ (décentralisation, différenciation, déconcentration) pourrait être examiné au regard de cette problématique.

7. <https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/dossiers/DLR5L15N42412>

La négociation collective devra porter sur l'intérêt et les limites du ciblage et de la différenciation, en mettant en regard les bénéfices pour l'équité et l'efficacité, avec les coûts d'administration, de contrôle et les risques d'effets d'aubaine et de fraude. L'administration des aides devra aussi prévoir les modalités de leur évolution dans le temps pour tenir compte du déploiement des alternatives bas carbone et ne pas désinciter les choix d'investissement, de rénovation, de localisation et de report modal dans les transports, et donc la réduction des consommations d'énergie fossile et des émissions à moyen et long terme.

3.5. La différenciation des aides au déploiement des alternatives décarbonées

Plutôt que par des transferts monétaires forfaitaires, la compensation des ménages peut se combiner à des conditions sur l'achat ou l'usage d'alternatives bas carbone (bonus-malus selon le poids ou la performance environnementale des véhicules, crédits d'impôts ou prêts à taux avantageux pour des travaux de rénovation thermique, etc.). Ces dispositifs de subventions et de prêts existent déjà et leur différenciation selon des tranches de revenu a été renforcée (CPO, 2019). En général, le financement de subventions ciblées avec les recettes de la taxe permet de mieux concilier effectivité, efficacité et faisabilité que des transferts forfaitaires non conditionnés, puisque l'aide contribue alors aussi à sortir le récipiendaire de sa dépendance aux énergies fossiles. C'est par exemple ce que trouvent Bourgeois *et al.* (2019) en comparant le financement de subventions aux travaux de rénovation énergétique à une redistribution forfaitaire attribuée aux mêmes ménages du premier décile de revenu. Le bilan est meilleur selon les trois critères qu'ils considèrent : la précarité énergétique, les économies d'énergie et l'effet de levier financier de l'argent public.

Ces mesures permettant de concilier compensation des ménages vulnérables et déploiement des alternatives bas carbone doivent être favorisées dès que possible. Mais des compensations forfaitaires non conditionnées dans leur usage sont probablement nécessaires à court terme, de façon transitoire, et ce pour trois raisons principales. Premièrement, les aides ne couvrent pas l'ensemble des coûts d'investissement nécessaires. Le reste à payer peut rester trop lourd pour les ménages modestes tandis que l'effet levier et l'incitation à l'investissement bas carbone peuvent être plus forts pour de plus hauts revenus. Deuxièmement, les aides à l'investissement des ménages les plus impactés nécessitent un délai pour être mises en place et pour

produire leurs effets (temps pour réaliser les rénovations, les achats de véhicules neufs, les changements de système de chauffage, etc.). Troisièmement, les investissements ne sont pas toujours le fait des ménages que l'on souhaite compenser. C'est par exemple le cas des ménages locataires – nombreux dans le premier décile de revenu – qui ne décident pas de la rénovation de leur logement. C'est aussi le cas des investissements publics : le développement des transports en commun, la rénovation des logements sociaux, etc., organisés par les administrations qui en ont la responsabilité (Banque des territoires, collectivités, etc.). Des transferts forfaitaires transitoires et conditionnés à un diagnostic d'absence d'alternatives à court terme permettraient de ne pas retarder les décisions limitant l'étalement urbain et le remplacement des véhicules thermiques ou des systèmes de chauffage.

En résumé, la conception d'un système de compensation qui ne soit pas trop complexe, permettant d'accompagner les ménages vulnérables sans affaiblir l'incitation de la valeur du carbone, tout en limitant les risques d'effet d'aubaine et de fraude, demeure un sujet de négociation et de recherche encore ouvert (Bureau *et al.*, 2019 ; Clément *et al.*, 2019).

3.6. Compétitivité et effets distributifs entre entreprises et secteurs d'activité

L'incidence de la fiscalité carbone est aussi hétérogène entre les secteurs d'activité (Clément *et al.*, 2019), selon leur intensité énergétique et leur exposition à la concurrence internationale. La compensation de la hausse des coûts de production énergétiques par une baisse de cotisations sociales permet de compenser l'essentiel des entreprises, avec des secteurs d'activité pour lesquels la substitution fiscale est neutre (33 % de la valeur ajoutée (VA) en France), des secteurs gagnants car plus intensifs en emploi (60 % de la VA), mais également des secteurs perdants car plus intensifs en énergie (7 % de la VA) comme le transport, la pêche, l'industrie chimique minérale et organique, l'extraction et le traitement de minéraux (Combet *et al.*, 2010a ; Hourcade et Combet, 2017). La vulnérabilité spécifique d'activités amont, fortement intensives en énergie et stratégiques, comme la sidérurgie, la production de ciment ou d'aluminium, les matériaux de construction, la chimie lourde, le verre, demande une attention particulière (Giraud et Nadaï, 1994 ; Hourcade *et al.*, 2007). Ces activités représentent une part modérée de la valeur ajoutée nationale (moins de 5 %) mais elles ne sont pas suffisamment préservées par la substitution

fiscale qui n'empêche pas une hausse de leurs coûts de production mais surtout une compression de leurs marges et un risque pour leur capacité d'investissement (Combet *et al.*, 2010a ; Le Treut et Combet, 2017).

Aujourd'hui, le maintien de la compétitivité des entreprises françaises est traité par des exonérations, taux réduits de taxe et remboursements partiels qui allègent le prix des combustibles payé par les entreprises mais qui sont trop largement accordés (Martin *et al.*, 2014). Elles ont par ailleurs bénéficié d'allègements d'impôts (CICE, baisse des impôts de production, etc.) sans qu'aucune évaluation n'ait établi le bilan de la répartition de ces allègements entre entreprises et ne les ait mis en regard de la tarification du carbone.

Du fait de leur intégration au système européen d'échange de quotas (EU-ETS), 93 % des émissions industrielles sont exonérées de fiscalité carbone au motif de l'évitement d'une double contrainte et sont donc soumises à un prix du carbone plus faible. Il est cependant possible d'articuler des prix du carbone différents sans susciter de « double peine », avec des dispositifs comme le *Carbon Pricing Floor* au Royaume-Uni (Hirst et Keep, 2018). Un objectif français de baisse d'émissions supérieur à l'objectif moyen des pays européens suppose de fait une valeur du carbone plus élevée que celle transmise par le marché EU-ETS.

Les travaux d'économie publique montrent qu'il est possible de gérer les questions de compétitivité au moyen d'un système de compensations spécifiques pour les industries vulnérables, plutôt que par des exonérations qui remettent en cause l'équité et l'effectivité du prix du carbone. Bovenberg *et al.* (2008) trouvent que l'application de la taxe associée de compensations ciblées – par le biais de crédits d'impôt forfaitaires ou d'allègements d'impôt sur le capital productif – permet d'obtenir une meilleure voie de conciliation entre objectifs. La restitution d'une faible fraction seulement des revenus de la taxe est suffisante pour financer ces compensations et préserver les industries exposées (Goulder *et al.*, 2000).

À la suite du mouvement des Gilets jaunes, plusieurs publications et tribunes d'acteurs ont souligné que les exemptions réduisent aussi l'adhésion de la population à la taxe puisqu'elles créent un déséquilibre dans la répartition de l'effort de réduction des émissions (Réseau Action Climat, 2019). Le CPO (2019) souligne que 61 % des émissions françaises proviennent des entreprises et des administrations alors qu'elles ne contribuent qu'à 36 % des recettes de la fiscalité carbone. Les

régimes dérogatoires au prix du carbone peuvent être perçus comme injustifiés, surtout s'ils sont largement octroyés, sans conditionnalités vis-à-vis de l'atteinte d'objectifs de réductions d'émission. Certains secteurs très émetteurs et exonérés de fiscalité énergétique, qualifiés de « gros pollueurs » dans l'imaginaire collectif, sont régulièrement cités en exemple (en particulier l'aviation). Enfin, les exonérations et taux réduits, en atténuant l'incitation à réduire les émissions pour certains secteurs et acteurs, reportent une contrainte plus forte sur le reste des émissions diffuses, ce qui peut amplifier les problèmes d'acceptabilité et le coût des compensations sociales (Stiglitz, 2019).

En résumé, les questions d'équité et de compétitivité peuvent être gérées par un système de compensations transitoires et ciblées dont les modalités doivent être précisées. Ce système a également un coût, mais une fraction seulement des recettes du prix du carbone peut lui être consacrée, tout en réservant l'essentiel à la maîtrise des coûts de production. Un tel système apparaît préférable au maintien des régimes d'exemptions actuels qui ne sont associés à aucune contre-partie environnementale. Mais, comme pour le choix de l'évolution des finances publiques et des modalités de compensation des ménages, la mise en place de l'accompagnement des secteurs vulnérables suppose des négociations et des accords de branches. Des contrats public-privé peuvent conditionner les avantages accordés – restitution transitoire des recettes de la taxe carbone, allègement fiscaux, mesures d'aides et subventions – à des engagements sur les jalons de transformation nécessaires pour respecter des trajectoires de réduction des émissions compatibles avec les budgets carbone de la France.

4. Conclusion : enjeux de gouvernance et contrats de transition

Si la littérature académique ne fournit pas de réponse définitive sur *la* politique optimale de conciliation, elle offre des connaissances assez précises sur les points de tension et les conditions de réussite. Nous avons suggéré deux directions pour approfondir l'identification des meilleures solutions de compromis : la comparaison de différents schémas d'évolution des finances publiques et celle de différents systèmes d'accompagnement des plus vulnérables.

Mais la réussite de cette conciliation dépendra surtout de la qualité des délibérations et des négociations collectives. Nous concluons en

soulignant l'enjeu pratique de la mise en place d'une gouvernance appropriée pour fonder un contrat social de transition. Il s'agit de préciser les modalités d'un processus de planification délibérative et de programmation négociée des politiques publiques (Combet, 2020) dans lequel les analyses sont formulées et mobilisées d'une façon utile aux négociations ; un processus décloisonné qui couvre et recherche la cohérence entre les diverses dimensions dont nous avons évoqué l'importance : les conséquences macroéconomiques et distributives, les arbitrages et synergies entre objectifs et entre mesures, la confiance et les conditions d'adhésion politique.

La réussite d'une telle démarche collective de co-construction et de contractualisation dépendra, au-delà de la volonté politique de s'engager dans cette voie, d'un accord suffisant sur la méthode de négociation et d'arbitrage, obtenu en amont avec l'ensemble des parties prenantes. Pour aligner acceptabilité et intérêt général, des garde-fous devront aussi être prévus afin de limiter les abus tels que le risque de prise en otage du processus par une minorité, l'influence de lobbies hors du cadre de négociation, les actions d'obstruction et de blocage, l'omission de connaissances-clés à l'encontre d'idées-reçues, le rejet final des arbitrages collectifs au motif qu'ils seraient illégitimes. L'implication des échelons territoriaux, des partenaires sociaux et des fédérations professionnelles sera particulièrement importante pour que le processus de co-construction puisse déboucher sur des engagements et des contractualisations solides. L'implication des médias sera aussi importante afin de permettre la communication d'arguments parfois complexes et la tenue de débats publics de qualité, pour éviter que l'opinion ne soit baladée au gré d'un jeu de billard rhétorique destructeur. Quoique exigeante, cette voie aurait le mérite d'offrir des bases solides pour une politique de conciliation.

Références

- ADEME, 2020, *Évaluation d'un scénario de SNBC 2 sans hausse de taxe carbone et sans prix fictifs ad hoc*, ADEME.
- Atkinson A. B. et Stiglitz J. E., 2015, *Lectures on public economics*. Princeton University Press.
- Belaïd F., 2018, « Exposure and risk to fuel poverty in France: Examining the extent of the fuel precariousness and its salient determinants », *Energy Policy*, 114:189-200.

- Berry A., 2018, « Compensating households from carbon tax regressivity and fuel poverty: a microsimulation study », *FAERE Policy Papers*, 2017-08.
- Blanchard O., Tirole J., Gollier C., Reguant M., Rodrik D., Stantcheva S., Börsch-Supan A., Diehl C. et Propper C., 2021, *Les grands défis économiques. Rapport de la commission internationale Blanchard-Tirole*.
- Bourgeois C., Giraudet L.-G. et Quirion P., 2019, « Social-environmental-economic trade-offs associated with carbon-tax revenue recycling », *Proceedings of the ECEEE, 2019 Summer Study*, page 1365-1372.
- Bovenberg A., 1999, « Green tax reforms and the double dividend: an updated reader's guide », *International Tax and Public Finance*, vol. 6, n° 3, pp. 421-443.
- Bovenberg A., Goulder L. H. et Jacobsen M. R., 2008, « Costs of alternative environmental policy instruments in the presence of industry compensation requirements », *Journal of Public Economics*, vol. 92, n° 5-6, pp. 1236-1253.
- Bureau D., Henriet F. et Schubert K., 2019, « Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe », *Notes du conseil d'analyse économique*, vol. 50, n° 2, pp. 1365-1372.
- Callonec G. et Combaud M., 2019, « Les effets macro-économiques et environnementaux de la fiscalité carbone. Rapport technique », *Rapport particulier*, n° 5 du CPO.
- Carattini S., Carvalho M. et Fankhauser S., 2018, « Overcoming public resistance to carbon taxes », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 9, n° 5, p. 531.
- Carbone J. C., Morgenstern R. D., Williams R. C. et Burtraw D., 2013, « Deficit reduction and carbon taxes: Budgetary, economic, and distributional impacts », *Resources for the Future*.
- CFE, 2013, *Tome 1 : Rapport du président*, Comité pour la fiscalité écologique, juillet.
- Chiroleu-Assouline M., 2001, « Le double dividende. Les approches théoriques », *Revue française d'économie*, vol. 16, n° 2, pp. 119-147.
- Claeys G., Fredriksson G. et Zachmann G., 2018, « The distributional effects of climate policies », *Bruegel Blueprint Series*, n° 28291.
- Clément M., Godzinski A. et Vincent I., 2019, « Les effets économiques de la fiscalité environnementale sur les ménages et sur les entreprises. Rapport technique », *Rapport particulier du CPO*, n° 5.
- Combet E., 2013, *Fiscalité carbone et progrès social : application au cas français*, Thèse de doctorat, EHESS.
- Combet E., 2020, « Planning and sustainable development in the twenty-first century », *Economia. History, Methodology, Philosophy*, vol. 10, n° 3, pp. 473-506.

- Combet E., Ghersi F., Hourcade J. et Thubin C., 2010a, « Économie d'une fiscalité carbone en france », *Étude de l'IRES*.
- Combet E., Ghersi F., Hourcade J.-C. et Thubin C., 2010b, « La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité », *Revue française d'économie*, vol. XXV, n° 2, p. 59.
- Combet E. et Hourcade J., 2014, « Taxe carbone, retraites et déficits publics : le coût caché du cloisonnement des expertises », *Revue d'économie politique*, vol. 3, n° 3, pp. 291-316.
- Combet E., Le Treut G., Méjean A. et Teixera A., 2021, « The equity and efficiency trade-off of carbon tax revenue recycling : A re-examination », *FAERE Policy Papers*.
- Commission européenne, 1993, *Livre blanc de la commission, croissance, compétitivité, emploi. les défis et les pistes pour entrer dans le 21^e siècle*, Commission européenne.
- CPO, 2019, *La fiscalité environnementale au défi de l'urgence climatique*, Conseil des prélevements obligatoires.
- Crassous R., Ghersi F., Combet E. et Quirion P., 2009, « Taxe carbone : Recyclage des recettes et double dividende », *Références économiques pour le Conseil économique pour le développement durable*, n° 4.
- 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, n° S1, pp. 169-208.
- Douenne T., 2019, « Les effets de la fiscalité écologique sur le pouvoir d'achat des ménages : simulation de plusieurs scénarios de redistribution », *Focus du CAE*, n° 30-2019.
- Douenne T., 2020, « The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a french policy », *The Energy Journal*, vol. 41, n° 3.
- Douenne T. et Fabre A., 2022, « Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion », *American Economic Journal-Economic Policy*, à paraître.
- Drèze J. et Stern N., 1987, « The theory of cost-benefit analysis », *In Handbook of public economics*, vol. 2, pages 909-989. Elsevier.
- DSS, 2020, *Les chiffres clés de la sécurité sociale 2019*, Direction de la Sécurité sociale.
- Dubois U., 2012, « From targeting to implementation: The role of identification of fuel poor households », *Energy Policy*, n° 49, pp. 107-115.
- Ekins P. et Speck S., 1999, « Competitiveness and exemptions from environmental taxes in Europe », *Environmental and Resource Economics*, n° 13, pp. 369-396.
- Fodha M., Seegmuller T. et Yamagami H., 2018, « Environmental policies under debt constraint », *Annals of Economics and Statistics*, n° 129.

- France stratégie, 2019, *La valeur de l'action pour le climat, une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, France Stratégie.
- France stratégie, 2020, *Évaluation du crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi – synthèse des travaux d'approfondissement*, France Stratégie.
- Fullerton D., 2011, « Six distributional effects of environmental policy », *Risk Analysis, An International Journal*, vol. 31, n° 6, pp. 923-929.
- Fullerton D. et Heutel G., 2010, « Analytical general equilibrium effects of energy policy on output and factor prices », *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, Vol. 10, n° 2.
- Giraud P.-N. et Nadaï A., 1994, *L'impact économique de l'écotaxe : Les effets de la taxe carbone-énergie sur l'industrie française*.
- Godard O., 2010, « Genèse et avortement de la contribution carbone en France (2009-2010) », *Cahier de la Chaire Business Economics de l'École Polytechnique*, Palaiseau.
- Gonand F., 2016, « The carbon tax, ageing and pension deficits », *Environmental Modeling & Assessment*, vol. 21, n° 3, pp. 307-322.
- Goulder L., 1995, « Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide », *International tax and public finance*, vol. 2, n° 2, pp. 157-183.
- Goulder L., 2013, « Climate change policy's interactions with the tax system », *Energy Economics*, vol. 40, n° 1, pp. 3-11.
- Goulder L., Bovenberg A. et al., 2000, « Neutralizing the adverse industry impacts of CO₂ abatement policies: What does it cost? », *NBER Working Papers*.
- Goulder L. H., Hafstead M. A., 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*, n° 175, pp. 44-64.
- Gouvernement, 2020, *Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État, Annexe au PLF 2021*.
- Guillou A. et Perrier Q., 2019, *Climat et fiscalité : trois scénarios pour sortir de l'impasse*, I4CE - Terra Nova.
- Hirst D. et Keep M., 2018, « Carbon price floor (cpf) and the price support mechanism », *House of Commons Library Briefing Paper*, n° 20.
- Hourcade J. C. et Combet E., 2017, *Fiscalité Carbone et finance climat : Un contrat social pour notre temps*. Les Petits Matins.
- Hourcade J.-C., Dasgupta D. et Ghersi F., 2021, « Accelerating the speed and scale of climate finance in the post-pandemic context », *Climate Policy*, pages 1-15.
- Hourcade J.-C., Demailly D., Neuhoff K. et Sato M., 2007, « Climate strategies report: Differentiation and dynamics of EU ETS industrial », *IMF Staff papers*, n° 16, pp. 159-178.
- I4CE, 2021, *Panorama des financements climats – édition 2020*, I4CE.

- IPCC, 2001, *Climate change 2001 : Mitigation*, Cambridge University Press.
- Johnstone N. et Serret Y., 2006, « Distributional effects of environmental policy: Introduction », in *The Distributional Effects of Environmental Policy*, OECD Publishing.
- Klenert D., Mattauch L., Combet E., Edenhofer O., Hepburn C., Rafaty R. et Stern N., 2018, « Making carbon pricing work for citizens », *Nature Climate Change*, vol. 8, n° 8, pp. 669-677.
- Kotchen M. J., Turk Z. M. et Leiserowitz A. A., 2017, « Public willingness to pay for a us carbon tax and preferences for spending the revenue », *Environmental Research Letters*, vol. 12, n° 9-094012.
- Le Treut G. et Combet E., 2017, « Climate policy design and the competitiveness of the French industry: A computable general equilibrium analysis », *Les cahiers de la chaire Modélisation prospective au service du développement durable - Working paper*.
- Maestre-Andrés S., Drews S., Savin I. et Van den Bergh J., 2021, « Carbon tax acceptability with information provision and mixed revenue uses », *Nature Communications*, vol. 12, n° 1.
- Martin R., Muûls M., De Preux L. B. et Wagner U. J., 2014, « Industry compensation under relocation risk: A firm-level analysis of the eu emissions trading scheme », *American Economic Review*, vol. 104, n° 8, pp. 2482-2508.
- Ollivier-Trigalo M., 2017, *Composante carbone, rapprochement diesel-essence, réforme de la TICPE : Transition énergétique ou fiscale?* Thèse de doctorat.
- Parry I. W., Sigman H., Walls M. et Williams III R. C., 2006, « The incidence of pollution control policies », *The international yearbook of environmental and resource economics*, 2007, pp. 1-42.
- Perthuis C. de et Faure A., 2018, « Taxe carbone, les centimes de la discorde », *The Conversations*.
- Piketty T., 2019, *Capital et idéologie*. Paris, Le Seuil.
- Poterba J. M., 1989, « Lifetime incidence and the distributional burden of excise taxes », *The American Economic Review*, vol. 79, n° 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*, n° 169, p. 73.
- Proost S. et Van Regemorter D., 1995, « The double dividend and the role of inequality aversion and macroeconomic regimes », *International Tax and Public Finance*, vol. 2, n° 2, pp. 207- 219.
- Rausch S., Metcalf G. et Reilly J., 2011, « Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households », *NBER Working Papers*, n° 17087.
- Rausch S. et Reilly J., 2015, « Carbon taxes, deficits, and energy policy interactions », *National Tax Journal*, vol. 68, n° 1, pp. 157-177.

- Rocard M., 2009, *Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution climat et énergie*, Paris, ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, de l'Économie, de l'industrie et de l'emploi.
- Réseau Action Climat, 2019, *Une taxe carbone juste est-elle possible ?*, Réseau Action Climat.
- Spire A., 2018, *Résistances à l'impôt, attachement à l'État. Enquête sur les contribuables français*. Paris, Le Seuil.
- Stern T., 2020, « The carbon tax in Sweden », *In Standing up for a Sustainable World*. Edward Elgar Publishing.
- Stiglitz J. E., 2019, « Addressing climate change through price and non-price interventions », *European Economic Review*, n° 119, pp. 594-612.
- Trannoy A., 2014, « Compenser les effets régressifs de la taxe carbone au moyen d'une hausse des allocations logement », *IDEP Analyses*.
- Van der Ploeg F., Rezai A. et Tovar M., 2021, « Gathering support for green tax reform: Evidence from german household surveys », *European Economic Review*, page 103966.
- WIR, 2022, « Chapter 6 : Global carbon inequality », *World Inequality Report*.

PLANIFICATION ET ORGANISATION DE L'ACTION

L'économie d'un accord-mondial sur le climat dans le monde ... 149
« tel qu'il est »
Jean-Charles Hourcade
Planification écologique et changement structurel ... 175
<i>Perspectives pour la France</i>
Etienne Espagne et Guilherme Magacho
Optimalité, équité et prix du carbone à propos de Harold Hotelling et de sa règle en économie du climat ... 203
Marion Gaspard et Antoine Missemér
Les certificats de sobriété numérique comme instrument de régulation de la pollution numérique ... 229
Jean-Philippe Nicolaï et Lise Peragin

L'ÉCONOMIE D'UN ACCORD-MONDIAL SUR LE CLIMAT DANS LE MONDE « TEL QU'IL EST »

Jean-Charles Hourcade

CNRS, CIRED (UMR-CNRS-ENPC-EHESS)

Le respect de l'objectif « bien en dessous de 2°C » dépend d'un accord mondial, dès la COP28, sur le financement des « actions volontaires » des pays (*cf.* l'Accord de Paris) dans un contexte d'incertitude sur la reprise économique post-Covid-19. Macro-économiquement, ce financement ne peut être séparé de la réduction du déficit structurel d'investissements en infrastructures qui est une précondition de la diminution de la pauvreté (« *first and over-riding priority* » de la Convention Climat) et de la réalisation des objectifs de développement durable. Nous montrons que cette réduction passe par le « dérisquage » des investissements et l'émergence d'une classe d'actifs bas-carbone pour réorienter l'épargne mondiale en direction des pays en développement où deux-tiers des investissements bas carbone doivent se déployer. Puis nous discutons de la possibilité, en allégeant la contrainte de la dette qui pèse sur la plupart d'entre eux *via* des outils assurant le « bon usage » des facilités de paiement ainsi accordées, de soutenir une relance post-Covid plus forte et solide que *via* des relances « incolores ». Nous esquissons enfin le « cercle de confiance » pour la transition écologique que pourrait enclencher un système multilatéral de garanties publiques accordées par les pays développés pour des investissements bas carbone dans les pays du Sud, cercle de confiance, susceptible, à terme, d'ouvrir la voie à des évolutions plus profondes du système financier.

Mots clés : négociation climat, finance, transition énergétique, relance post-Covid.

Ex-post, on pouvait analyser le « *lost deal* » de la sixième Conférence des Parties à la Convention Climat (COP6) en 2000 sur la mise en œuvre du Protocole de Kyoto comme le résultat d'une mauvaise compréhension des termes économiques d'un compromis qui tiendrait compte des controverses sur les règles d'observance des engagements¹ (Ghersi *et al.*, 2006). L'échec de la COP26 pourrait être le symptôme d'une erreur du même type, et nous nous risquerons à cerner, *ex-ante*, les conditions pour que la COP28, après avoir tiré le « Bilan Global de l'action », débouche sur un *deal* cohérent avec l'Accord de Paris et qui ne soit pas une « bénédiction rituelle de l'hypocrisie » (Denhez, 2021).

La COP26 a vu l'annonce de contributions nationales conduisant à une hausse de 2,7°C de la température moyenne du globe contre 3,6°C précédemment, l'adoption des règles de comptabilisation des résultats des initiatives de coopération et la référence à la réduction de l'usage du charbon. Le procès en hypocrisie commence quand on met en regard ces annonces et le maintien de l'objectif « bien en dessous de 2°C » avec la réalité des politiques nationales (fiscalité, promotion des options bas carbone) et des engagements financiers internationaux dont on pourrait rendre comptables les gouvernements.

Cette « hypocrisie » ne peut se comprendre sans revenir au fait que l'Accord de Paris essaya d'éviter le piège de Kyoto, celui de disputes sans fin sur un juste partage *ex-ante* d'un budget global d'émission². Il demanda aux pays de présenter des contributions volontaires à charge pour les pays développés de soutenir leur réalisation et leur renforcement dans les pays en développement par des transferts financiers à hauteur minimale de 100 milliards de dollars par an, engagement qui remonte à la COP15 de Copenhague (2009). Cette approche rentra en dissonance, après le rapport 1,5°C (IPCC 2018), avec la façon dont la notion d'urgence climatique polarisa les débats publics sur l'affichage d'objectifs physiques de baisse des émissions et de dates d'atteinte de la neutralité carbone plus que sur les instruments à même d'enclencher l'action commune dans un contexte difficile. On adoptait, surtout en

1. Le paradigme de Kyoto est celui de quotas alloués à chaque pays et de marchés entre pays. L'Europe imposa une contrainte de *supplémentarité* qui limitait les échanges de permis d'émission pour éviter qu'ils ne soient une échappatoire aux efforts domestiques.

2. Le talon d'Achille de Kyoto était l'allocation primaire des droits, d'où cette motion proposée par l'Inde au nom du G77+ Chine deux jours avant la fin de la Conférence : « *There will be no emissions trading until the question of the entitlement of primary emissions rights is resolved* », le terme « *entitlement* » étant un concept juridique à portée plus fondamentale que le concept purement technique d'allocation.

Europe, une problématique climato-centrée qui tend à oublier que la Convention Climat pose la diminution de la pauvreté comme *first and over-riding priority* et les conditions à réunir pour défaire le nœud gordien climat-développement (Hourcade, Shukla et Mathy, 2008) alors même que deux tiers des investissements bas carbone doivent se déployer dans les pays en développement.

Nous reviendrons ici sur la dimension financière de ce nœud gordien avant d'examiner comment le contexte post-Covid, a priori défavorable à l'action climat, ouvre des possibilités de synergies entre cette action, l'impératif de reprise économique à court terme et les objectifs de développement durable à long terme (SDGs). Dans une troisième section nous cernerons les bases économiques, dans les contraintes politiques du monde « tel qu'il est », d'un accord permettant de lancer dans les deux années qui viennent un cercle de confiance à même d'exploiter ces synergies.

1. Ce que financer la transition bas-carbone veut dire

La question du financement de la transition climatique renvoie aux montants à réunir, à l'identification des obstacles à lever pour ce faire et au type d'action publique internationale à mobiliser pour lever ceux qui relèvent des interdépendances qui caractérisent l'économie mondiale.

1.1. Clarifier les ordres de grandeur, une question stratégique

Les évaluations disponibles avant la Covid-19³ donnaient des montants d'investissements en énergie, transports et habitat compris entre 3,9 % et 8,7 % du PIB mondial sur les deux prochaines décennies pour rester « bien en dessous des 2°C ». Cette fourchette traduit une incertitude, d'ailleurs forte composante du problème à résoudre on y reviendra, qui résulte de la dépendance des besoins d'investissements aux taux de croissance des pays, au taux de découplage entre croissance et demande d'énergie, à l'évolution du coût des options bas carbone, aux stratégies des producteurs d'hydrocarbures, aux coûts de l'adaptation et au degré d'intégration des politiques climat dans les politiques économiques générales.

3. Données consolidées de l'encadré 4.8 du rapport 1,5°C du Giec (IPCC, 2018) pour l'énergie, de Fisch-Romito & Guivarch (2019) pour le transport, de l'OCDE (OECD, 2017) et de Rozenberg & Fay (2019) pour les autres secteurs.

Un indicateur important des tensions macroéconomiques de la transition est l'augmentation des investissements de décarbonation par rapport à un scénario de base pour atteindre un objectif donné. D'après le rapport 1,5°C du GIEC, elle représenterait de 0,35 % à 0,98 % du PIB mondial (voir encadré 4.8 dans le rapport 2018 de l'IPCC). Dans ces chiffres, les coûts en capital plus élevés des options bas carbone sont en grande partie compensés par la baisse des investissements en énergies fossiles, exploration comprise, une moindre demande énergétique (efficacité énergétique et modes de consommation sobres en services énergétiques) et la baisse des coûts d'investissements des énergies non fossiles par effets d'économies d'échelle et d'apprentissage. On pourrait couvrir ce surcroît d'investissement en dirigeant vers les secteurs concernés de 1,4 % à 3,9 % de l'épargne mondiale et entre 0,8 % et 3 % des revenus annuels du capital privé (réévaluation du capital plus intérêts perçus) aujourd'hui placés dans l'immobilier, le foncier ou les produits financiers liquides (Dasgupta *et al.*, 2019).

Mais ces chiffres, apparemment modestes, supposent la résolution d'un problème difficile, le fait que les lieux de formation de l'épargne ne sont pas ceux où les besoins d'investissements sont les plus élevés. Ils supposent aussi que le capital global ne se dévalorise pas, donc qu'une classe d'actifs crédibles émerge pour compenser la perte de 32 % de la valeur des activités liées à l'énergie fossile (Mercure, 2018) et qu'on sache gérer la discordance des distributions géographiques des nouveaux actifs et des actifs dévalorisés.

On trouve dans la littérature récente des chiffres plus élevés, avec des pics au-delà de 2 % du PIB (voir la synthèse de Pisani-Ferry, 2021). Un déplacement de 8 % de l'épargne constituerait alors un choc important sur la consommation et un effet d'éviction sur les investissements des autres secteurs. Combinée avec les coûts cachés, toute reconversion rapide des activités aurait un impact négatif sur la productivité à long terme. La différence entre les chiffres précédents permet de mettre en lumière un point important pour le cadrage des politiques climat. Elle vient en partie du fait que les études récentes intègrent l'objectif de neutralité carbone en 2050 qui réduit la période de temps disponible pour gérer la transition sauf recours plus important à la séquestration. Mais elle vient surtout de ce que les modèles utilisent généralement un scénario de base optimal sur le long terme (sans sous-utilisation des facteurs de production et sous-investissement) auquel on impose une contrainte carbone que l'on satisfait *via* « *a global least cost*

approach with transparent markets, no transaction cost, and thus perfect implementation of mitigation measures throughout the 21st century. » (IPCC, 2014, SPM, Encadré 3). Ce faisant les scénarios de long terme intègrent, par construction, la réduction du déficit structurel d'investissement en infrastructures, sur lequel le Fonds Monétaire International attire l'attention depuis longtemps (IMF, 2014) et qui pourrait atteindre 15,9 % des besoins d'après le *Global Infrastructure Hub* (2017) ou 32 % d'après Arezki *et al.* (2016).

L'effort d'investissement additionnel pour la transition bas carbone calculé par les exercices de modélisation englobe donc, en plus des surcoûts dus à la contrainte carbone, la réduction du sous-investissement en infrastructure qui constitue un préalable à la réalisation d'objectifs de développement durable (ODD) comme l'accès à l'électricité, à des routes carrossables ou à des logements décents. Ce point est encore plus important dans le cas des investissements d'adaptation pour lesquels il est difficile de distinguer ce qui constitue un investissement d'adaptation *stricto-sensu*, et un investissement qui renforce la capacité d'adaptation des sociétés en contribuant à tel ou tel ODD (Hallegatte *et al.*, 2015). Il en est ainsi de la multiplication par 1,24 ou 2,36 des investissements en gestion des eaux, protection contre les crues et irrigation dans les pays en développement pour remplir les ODD 6.1 (eau potable) et 6.2 (hygiène) (Rozenberg et Fay, 2019).

La transition bas carbone suppose donc de gérer à la fois les effets d'évitement potentiels des investissements « verts », qu'ils soient de décarbonation ou d'adaptation, et de les compenser par les effets d'entraînement à court terme dans le contexte Covid et les « co-bénéfices » à moyen et long terme de l'alignement entre objectifs climat et autres objectifs de développement.

1.2. Les raisons d'un « paradoxe microéconomique »

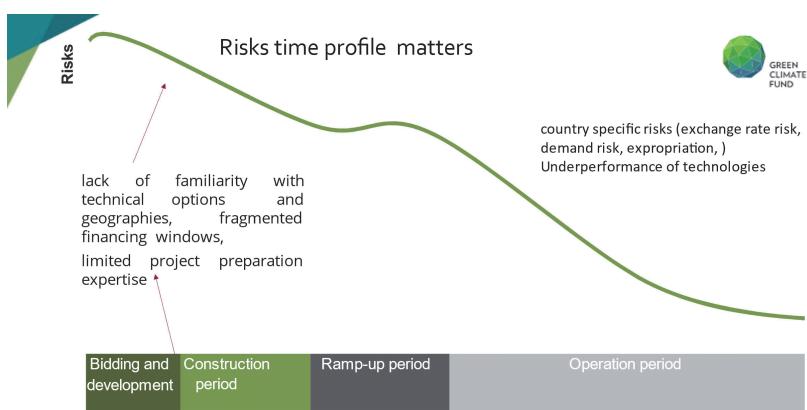
Ce qui rend cet exercice possible est que la réduction du déficit d'investissements en infrastructures et le déblocage des investissements bas carbone⁴ passent tous deux par la modification du court-termisme

4. Le terme infrastructure englobe ici les « grands réseaux » (énergie, transport, télécoms, eau) et les bâtiments dédiés aux services publics (santé, éducation, sécurité). La réorientation bas carbone des investissements d'infrastructure détermine en grande partie les montants d'investissement en équipements de service énergétiques comme le chauffage, la climatisation ou les véhicules électriques et, en amont, celui des investissements industriels (depuis les matériaux aux systèmes d'information). Les premiers sont très souvent pris en compte dans les *Integrated Assessment Models* (IAM), pas les seconds.

des comportements décisionnels (Miles, 1993 ; Bushee, 2001 ; Black et Fraser, 2002) dans un contexte où le « shareholder value business regime » (Roe, 1994 ; Froud *et al.*, 2000) tend à dominer le « managerial business regime » d'antan. Le sous-investissement en infrastructures est un des symptômes du « gap between the propensity to save and the propensity to invest » (Summers, 2016) qui pourrait être une des causes de croissance incertaine dans les prochaines décennies (Krugman, 2014 ; Blanchard, 2019 ; Rachel et Summers, 2019). Mais il a ses propres spécificités. Il a pu être présenté « paradoxe microéconomique » puisque les infrastructures, avant tout en « verdissement », ont pu être présentées comme un « free lunch » par le FMI (Abiad *et al.*, 2014) avec des taux de rentabilité de 4 % à 8 % (Bhattacharya *et al.*, 2016 ; OECD, 2017).

Ce paradoxe se traduit par la coexistence de plaintes des porteurs de projets devant les difficultés d'accès au capital et de regrets du secteur financier devant le faible volume de projets proposés, volume significativement inférieur à celui des projets économiquement viables (Gouvello et Zelenko, 2010 ; Timilsina *et al.*, 2010). Il doit beaucoup au profil des investissements d'infrastructure décrit dans la figure 1 (World Economic Forum adapté par le Green Climate Fund) avec une concentration des risques dans les phases de montage des projets et de construction des équipements suffisante pour changer l'ordre de mérite des options donné par le calcul des coûts annualisés en univers certain.

Figure 1. Profil temporel des risques d'investissements bas carbone



World Economic Forum adapté par le Green Climate Fund.

Ces phases (figure 1) combinent deux types de risques. Les premiers sont de nature transactionnelle (obtention des permis de construire et identification de partenaires financeurs plus longues que prévu, renégociation des permis obtenus en raison de mauvaises surprises dans les revues de conformité environnementale ou remise en cause impromptue de co-financements publics). Les seconds portent sur les surcoûts des chantiers ou la sous-performance des équipements. Ils sont plus importants pour les options moins matures. Les risques, diminués dès la fin de la période de construction chutent fortement lors de la phase d'opération, ce qui permet une baisse des provisions pour pertes dans les bilans et l'accès à des prêts relais ou des obligations à bas coûts.

Ces coûts et risques initiaux (*up-front*) dissuadent beaucoup des porteurs de projets qui engagent leur propre capital et ne trouvent des partenaires financiers qu'en acceptant des taux d'intérêts élevés. C'est encore plus vrai pour des projets de petite taille portés par des entités dotées de compétences administratives, juridiques et techniques insuffisantes pour mobiliser les réseaux professionnels et les guichets de financement adéquats (United Nations, 2021). La rénovation énergétique des habitats en est un cas archétypique (Ürge-Vorsatz *et al.*, 2018).

L'impact de ce profil de risques a été aggravé par la réponse macro-financière à la crise des *subprime*. De fortes injections de liquidité ont facilité l'endettement du secteur privé mais celui-ci fut découragé de s'engager sur des horizons de 15 à 20 ans par le fait que les règles de Bâle III et Solvency II, pour sécuriser le système financier, incitent les banques et assurances à privilégier des prêts à échéance de 5 à 8 ans (Blended Finance Taskforce, 2018a ; Arezki *et al.*, 2016). Pour les pays en développement ceci s'est combiné avec la hausse des écarts entre le taux d'intérêt versé par un pays sur sa dette et celui d'une obligation émise par le gouvernement américain. Ces *spreads* se combinent aux coefficients risques des projets qui atteignaient en 2019 pour les pays notés B, de 6 % pour un projet de cinq ans à 9 % pour un projet de dix ans.

Si cette situation devait perdurer, les pays en développement qui construisent aujourd'hui l'essentiel de leur stock d'infrastructures bifurqueraient vers des types de développement incompatibles avec les 2°C ou verraient leur développement fragilisé par l'insuffisance d'infrastructures de base. Ce n'est pas un pur problème d'aide Nord-Sud parce

que la question de Lucas « *why doesn't capital flow from rich to poor countries?* » (Lucas, 1990) continue de se poser et qu'une part importante de l'épargne du Sud s'investit dans les places sûres des pays du Nord (World Bank, 2019b). C'est un problème de politiques publiques nationales et internationales capables de contourner, sinon résoudre, un problème structurel du capitalisme actuel.

1.3. Le partage des risques comme outil de déblocage

Dans ces politiques, les prix du carbone sont nécessaires pour viabiliser les options bas-carbone, mais l'efficacité de leur signal pour lancer une vague d'investissement est limitée par les risques initiaux. Pour les investisseurs, ils renforcent l'attractivité des options « vertes » non pas directement mais *via* la pénalité qu'ils imposent aux options « brunes ». Or ce renforcement ne joue qu'à l'avantage de la fraction des projets verts présentés pour financement et dont les porteurs n'ont pas été dissuadés d'entrée par les « mauvaises surprises » potentielles des deux premières phases. Il faudrait, pour contrebalancer le fait que les options à fort CAPEX sont plus sensibles que leurs concurrentes à ces mauvaises surprises (Hirth & Steckel, 2016 ; Iyer *et al.*, 2015 ; Schmidt, 2014) et dans un contexte où leur signal peut être recouvert par d'autres signaux (prix du pétrole, taux de change, taux d'intérêts, climat des affaires (Gross *et al.*, 2010 ; Roques *et al.*, 2008) fixer les prix du carbone à un niveau bien plus élevé que ceux envisagés par les commissions Stern Stiglitz (Stiglitz *et al.*, 2017) et Tirole-Blanchard (2021)⁵. Or le niveau socialement acceptable de ces prix est contraint par la capacité des pays à réduire, par des politiques fiscales et sociales, l'impact négatif sur les coûts de production, l'emploi et la distribution des revenus de la propagation dans l'économie de coûts énergétiques plus élevés (Goulder, 1995 ; Chiroleu-Assouline et Fodha, 2014 ; Klenert *et al.*, 2018 ; Hourcade et Combet, 2017).

5. Les bornes de l'espace de vraisemblance des coûts marginaux du carbone dans les plus de neuf cents simulations des Modèles d'Evaluation Intégrés retenues dans l'AR6 du Giec sont de \$70/tCO₂ et \$160/tCO₂ en 2030 et le rapport spécial du Giec souligne que respecter un objectif de 1,5°C exigerait des coûts marginaux de trois à quatre fois supérieurs. Ces résultats sont obtenus sous l'hypothèse d'une taxe uniforme à l'échelle mondiale ou de marchés transparents en anticipations parfaites, donc d'une « *perfect mitigation with least cost measures* » (IPCC 2014 Box 3) et avec, implicitement, les transferts nécessaires à l'égalité des coûts marginaux en bien-être (règle Bowen-Lindhall-Samuelson).

Ces paquets fiscaux sont fonction des spécificités de chaque pays. Ainsi, les pays en développement, plus impactés par une taxe carbone parce que leur développement est plus dépendant des secteurs intensifs en énergie ont un plus faible potentiel de réduction des effets de propagation des coûts *via* des réaménagements fiscaux parce qu'ils ont des prélèvements obligatoires plus faibles (Lefevre *et al.*, 2018 ; Waismann, 2019). Ceci explique que le paragraphe 136 de la décision de l'Accord de Paris ait exclu *de facto* les prix du carbone comme outil de coordination internationale en déclarant que « *it applies to non-Party entities and is not binding upon countries that are Parties to the convention* ».

Les standards, les normes techniques ou le bannissement de certaines options, s'ils ne garantissent pas l'égalité des coûts d'abattement entre secteurs réduisent l'incertitude pour l'industrie et accélèrent les effets d'apprentissage et l'émergence de réseaux de compétence (Kahouli-Brahmi, 2009) (Ürge-Vorsatz *et al.*, 2014). Mais cet avantage peut disparaître si les pouvoirs publics modulent trop souvent leur soutien financier (marchés publics, tarifs de rachat, bonus-malus, baisse de TVA) ou complexifient son administration en fonction du contexte budgétaire. Il peut l'être aussi par le jeu des controverses techniques sur les mérites et dangers des différentes options si ce jeu n'est pas maîtrisé (Hourcade, 1992). Ceci rend l'utilisation de ce type d'outil difficile comme outil de coordination internationale, le déploiement des controverses étant fortement dépendant du contexte culturel de chaque pays (*cf.* les divergences sur les vertus environnementales du nucléaire, des biocarburants ou des éoliennes).

Il importe donc de compléter ces outils classiques par des dispositifs qui traitent directement l'obstacle des risques initiaux, lèvent simultanément les barrières sur la demande et l'offre de financement (Mazzucato, 2015) pour des projets « bas-carbone » et puissent jouer un rôle de coordination internationale. L'enjeu, nous dit la théorie de l'Agence (Holmstrom, 1979 ; Mirrlees, 2011) est, pour un Principal poursuivant un but collectif, celui du bon équilibre entre partage des risques et incitations. Dans l'affaire climatique, seuls les États peuvent prendre l'initiative de ce partage comme ils l'ont fait dans le cadre de l'émergence des vaccins contre le Covid-19. Mais ils doivent le faire dans un contexte de fortes demandes concurrentes sur les budgets publics, de réticences persistantes à l'impôt et, pour la plupart d'entre eux, d'une dette à coût économique et politique élevé.

La double nécessité de maximiser l'effet levier de l'argent public et de réduire les risques initiaux des projets explique l'émergence de propositions en faveur de garanties publiques des dernières années (Emin *et al.*, 2014 ; Lee *et al.*, 2018 ; Schiff et Dithrich, 2017) et l'appel de la *Blended Finance Task Force* (2018b) à leur généralisation. Elles sont neutres par rapport au type de risque encouru (y compris les risques politiques) alors que les assurances ne sont payées qu'après constat de la survenue d'un événement prévu *ex-ante* dans le contrat. Insérées dans des dispositifs multilatéraux⁶, elles pourraient être servir de point d'appui pour augmenter l'efficacité de dispositifs classiques et l'effet levier des capitaux publics sur les projets de développement « climate friendly » effet aujourd'hui faible (1,4) en particulier pour les pays les moins avancés où il atteint 0,37 seulement (Attridge, et Engen, 2019).

2. Les politiques climat dans le contexte Post-Covid

Les réponses à la pandémie ont plongé le monde dans la plus profonde récession depuis 1945 avec une contraction de 3,5 % de son PIB en 2020. La priorité de tous les gouvernements est celle de la relance économique. Le pari du « Green Deal » en Europe est que les politiques climat peuvent y contribuer et non la contrarier. Mais d'autres paris peuvent être faits ailleurs dans le monde, comme ceux de relances « incolores » et la couleur de relances « vertes » peut pâlir sous l'effet des contraintes financières, organisationnelles et sociales dans un contexte incertain (Hepburn *et al.*, 2020). L'enjeu est de savoir quelle tendance l'emportera *in fine*.

2.1. Stimuli verts versus stimuli incolores

Selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE, 2021) seulement 18 % des dépenses de relance et 2,5 % des dépenses totales (emploi et soutien social inclus) ont un contenu climat dans les cinquante plus grandes économies. Hepburn *et al.* (2020) estiment que seulement 4 % des mesures de sauvetage du G20 sont « vertes », 4 % « brunes » donc susceptibles d'augmenter les émissions nettes au-delà du scénario de base et 92 % « incolores ». Elles augmenteraient les

6. Voir les propositions de Green Infrastructure Funds (Gouvello et Zelenko, 2010 ; Studart et Gallagher, 2015), de Enhanced Green MIGA (Déau et Touati, 2017) de fonds de garantie pour les infrastructures (Arezki *et al.*, 2016), et de mécanismes de garanties multi-souveraines (Dasgupta *et al.*, 2019 ; Hourcade *et al.*, 2021).

émissions mondiales de 16,4 % (23,2 Gt) entre 2020 à 2024 selon Shan *et al.* (2020).

Ces chiffres traduisent le fait que, en situation de crise, les dirigeants politiques donnent toujours la priorité aux urgences économiques et sociales et aux solutions éprouvées. En mars 2021, le président américain a pu promulguer un plan d'aide aux victimes de Covid-19 de 1,9 trillion de dollars mais a dû diminuer de près de moitié son plan de relance sur les infrastructures (1,2 trillions de dollars sur huit ans). La pression des urgences est encore plus évidente dans les pays en développement. Alors que ces pays avaient continué à croître lors de la crise des *subprime* (+ 2,8 % en 2008 Chine exclue), leur PIB s'est contracté de 2,6 % en 2020 dans les pays émergents et de 5 % chez les autres (Banque mondiale, 2021)⁷ et on a vu la première augmentation en trente ans du nombre de personnes sous le seuil de pauvreté (500 millions) (Sumner *et al.*, 2020).

Si l'impact d'un décalage des efforts supplémentaires de décarbonation après le retour à une croissance économique stable est aisé à établir en termes de hausse des températures⁸, il n'en est pas de même pour celui de leur déclenchement immédiat sur la reprise économique et la possibilité d'un effet d'entraînement compensant leurs effets d'évictions. Plus précisément la question est celle des effets d'entraînement relatifs de *stimuli verts* et de *stimuli incolores* (Battini *et al.*, 2021), ces derniers pouvant avoir des multiplicateurs économiques entre 1,5 à 2 (Auerbach et Gorodnichenko, 2012) voire 2,5 (Blanchard et Leigh, 2013) surtout s'ils sont accompagnés de transferts aux ménages les plus fragiles (Gechert et Rannenberg, 2018).

Ce qui ouvre la voie à la perspective d'une meilleure efficacité des *stimuli* verts est que, dans le contexte post-Covid-19, les multiplicateurs de *stimuli incolores* pourraient être plus faibles qu'espéré : climat d'inquiétude conduisant à privilégier les placements de rentes, stock de la dette des sociétés non financières plus élevé qu'en 2008 (OCDE, 2020), demande des ménages freinée par un haut niveau d'épargne de précaution, tensions sur les matières premières, goulots d'étranglement

7. Ce chiffre doit être pris *cum grano salis* parce qu'on a enregistré rebond sur 2021. Mais, comme le signale le dernier *World Economic Outlook* de l'OCDE (2021) ce rebond est très inégal, ce qui risque de se confirmer en 2022 avec des pays qui auront eu une croissance cumulée inférieure à 1% sur deux ans (Argentine, Brésil, Mexique, Afrique du Sud, Inde, Indonésie) correspondant à un recul de leur PIB par habitant.

8. Pour Forster *et al.* (2020) une relance "incolore" placerait le monde sur une trajectoire ou le seuil de 1,5°C dans les dix ans et la limite de 2°C peu après 2050.

ment dans certaines chaînes de production. Ces éléments peuvent renforcer l'aversion au risque du secteur privé alors même que le relais par le financement public direct des investissements est contraint, surtout dans les pays dont la devise n'est pas une monnaie de réserve.

La combinaison de politiques monétaires expansionnistes, d'une augmentation du taux d'épargne des ménages et de l'aversion au risque des entreprises (Demary *et al.*, 2021) peut alors déboucher sur une *surabondance d'épargne* avec des ménages aux hauts revenus limitant leurs prises de risque dans des investissements productifs (Mian *et al.*, 2020 ; Chen *et al.* 2017), configuration qui conduit à un rationnement du crédit pour les projets (Stiglitz et Weiss, 1981). Dans un contexte d'endettement sans précédent en dehors des périodes de guerre (Tiftik *et al.*, 2020) avec deux tiers de la dette dans le secteur privé, un échec de la reprise économique pourrait entraîner une dévalorisation des bilans des entreprises et une déstabilisation du système financier.

Ce risque est d'autant plus grand que, d'après McKibbin et Vines (2020), il manque 2 trillions de dollars aux plans de relance dépensés ou promis par les pays avancés pour assurer le succès d'une reprise à l'échelle mondiale. Or nombreux de pays en développement sont hors de capacité pour déployer des plans contracycliques (en pourcentage du PIB leurs mesures de soutien ne représentent que 47 %, de celles des pays développés selon UNEP, 2021). Ces pays sont pris dans un « effet de ciseaux » (OCDE 2021) entre une baisse des recettes fiscales plus importantes que dans les pays de l'OCDE et des demandes de dépenses publiques en santé, sécurité, protection sociale et infrastructures de base.

2.2. Problèmes de garantie du bon usage de la dette.

Les prêts des banques multilatérales peuvent certes prendre le relais. Mais, alors que la Banque mondiale, la Banque africaine de développement, la Banque asiatique de développement et la Banque interaméricaine de développement avaient augmenté leurs prêts de 46,4 et 42,9 milliards de dollars en 2009 et 2010 par rapport à 2008, elles ne l'ont fait que de 18,2 et 20,1 milliards de dollars en 2020 et 2021 par rapport à 2019 (United Nations, 2021). C'est que le volume des prêts est lié à celui des projets, lui-même en partie fonction de soutiens publics nationaux sous contrainte. De plus, tout prêt, même à taux bonifié, commence par dégrader la solvabilité du pays bénéficiaire s'il ne s'accompagne pas de l'inscription d'un actif crédible dans ses

comptes publics. Il le fait d'autant plus dans un contexte de difficulté d'accès à des devises de paiement international vu la baisse des entrées de devises liée à la baisse des exportations de matières premières (Mulder et Tooze, 2020), à la chute du tourisme international (UNWTO, 2020) et à la baisse des investissements directs étrangers, estimée à 35 % (World Bank, 2020). Ainsi, la pandémie a aggravé l'écart entre les pays où l'essentiel des investissements doit être déployé et ceux qui ont l'épargne suffisante pour les financer. La prédition de Mc Kibbin et Vines sur le risque que cela comporte pour la stabilité de la reprise mondiale semble confirmé par la dernière évaluation, pessimiste, de la Banque mondiale pour 2022 (World Bank, 2022).

Plusieurs mesures multilatérales ont été prises pour pallier ce risque. La première est la suspension par le G20 des paiements de la dette bilatérale officielle de 42 pays à faible revenu mais elle constitue surtout une bouée de sauvetage en situation de crise. La seconde est une nouvelle allocation de droits de tirage spéciaux (DTS) de 650 milliards de dollars (IMF, 2021) qui permet de renforcer les réserves de change des pays et de réduire le coût de leur dette. Mais, distribués au prorata des quotes-parts des pays dans le capital du FMI, ces nouveaux DTS bénéficieront pour 42,3 % seulement (36 % hors Chine) aux pays en développement. Certes, le FMI encourage la réaffectation volontaire d'une partie des DTS des pays dotés d'une position extérieure solide en faveur des pays fragiles mais laisse cette réaffectation au gré de négociations bilatérales, exceptés 15 milliards de dollars (4 % du total) pour le fonds fiduciaire pour la réduction de la pauvreté et la croissance qui accorde des prêts concessionnels aux pays à faible revenu. La montée en puissance ou la réPLICATION de ces mesures non conventionnelles risque alors d'être limitée par l'absence de règles partagées sur le « bon usage » des dettes et les inquiétudes sur des affectations dépendantes de rapports de force politiques bilatéraux dans un contexte de rémanence de la « donor fatigue » dans l'aide au développement, équivalent de la querelle entre cigales et fourmis dans le contexte européen.

L'enjeu est donc de comprendre comment de telles règles partagées pourrait permettre, en surmonter ces blocages, de déclencher un stimulus vert mondial, celui que suggère le FMI (2020) avec des dépenses budgétaires supplémentaires de 0,8 % du PIB chaque année entre 2020 et 2030 pour rehausser la reprise mondiale de 0,6 % du PIB par an.

2.3. Les conditions d'efficacité de stimuli verts

Potentiellement les stimuli verts ont un fort effet d'entraînement parce que le secteur des infrastructures représente une part dominante de la formation brute de capital fixe (Leduc et Wilson, 2017) et sollicite principalement la demande intérieure. C'est l'argument qu'avance le FMI à l'appui de son plaidoyer pour une montée des investissements infrastructures (Abiad *et al.*, 2014). L'effet d'éviction des investissements en infrastructures se ferait alors au détriment d'autres placements moins porteurs d'activité et d'emplois, ce qui pourrait compenser le coût incrémental des options vertes. À court terme, leur effet d'entraînement, certes freiné par des goulots d'étranglement dans les chaînes productives et par des déficits en compétences professionnelles, devrait être soutenu par des politiques indiquant clairement là où le capital devrait s'investir et induisant une transformation des comportements d'épargne et de prises de risques d'investissement, y compris, on l'a vu, dans les investissements transnationaux.

Tout se joue ici sur l'assurance que les facilités de paiement additionnelles seront bien dirigées là où les besoins sont les plus importants, sous des formes garantissant une soutenabilité des dettes contractées (Bulow *et al.*, 2021). Celle-ci dépend de cinq principes : a) les facilités de paiement n'entraînent pas une sélection laxiste des projets et minimisent à la fois les effets d'aubaine et les jeux de lobbying ; b) la dette pourra être remboursée par les recettes fiscales de la croissance économique générée par les investissements qu'elle finance ; c) les créanciers recyclent les recettes des intérêts dans l'économie, ce qui suppose qu'une part de la dette soit détenue par les acteurs locaux ; d) toute nouvelle dette est équilibrée par des actifs crédibles dans les bilans publics et e) il n'y a pas de difficulté à accéder aux devises internationales pour payer les importations et les services de la dette aux entités étrangères.

C'est ici que les dispositifs de garanties multilatérales pourraient renforcer la supériorité des stimuli verts par rapport aux stimuli incolores en reposant sur des méthodes transparentes d'évaluation et de suivi des projets fondées, sur une métrique claire de la valeur sociale des émissions évitées. Des méthodes communément agréées sont importantes – nous y viendrons en section 3 – pour prévenir le procès en conditionnalité abusive des soutiens financiers aux programmes d'action volontaire des pays hôtes.

Plus globalement, on aurait là une opportunité pour déplacer les termes des débats sur l'orthodoxie ou la non-orthodoxie des politiques macro-financières puisque les investissements climatiques ainsi déclenchés pourraient réorienter productivement l'épargne et débouchant sur des actifs crédibles parce que sélectionnés selon des procédures universellement reconnues qui limitent à la fois les échanges « dette-climat » et l'émission de nouveaux DTS. Bien évidemment, le volume d'investissements libérés par de tels dispositifs sera fonction des revenus nets espérés, lui-même fonction du niveau des prix du carbone et des politiques fiscales, tarifaires et réglementaires d'accompagnement.

3. L'urgence : rétablir la confiance par un cercle de gains réciproques

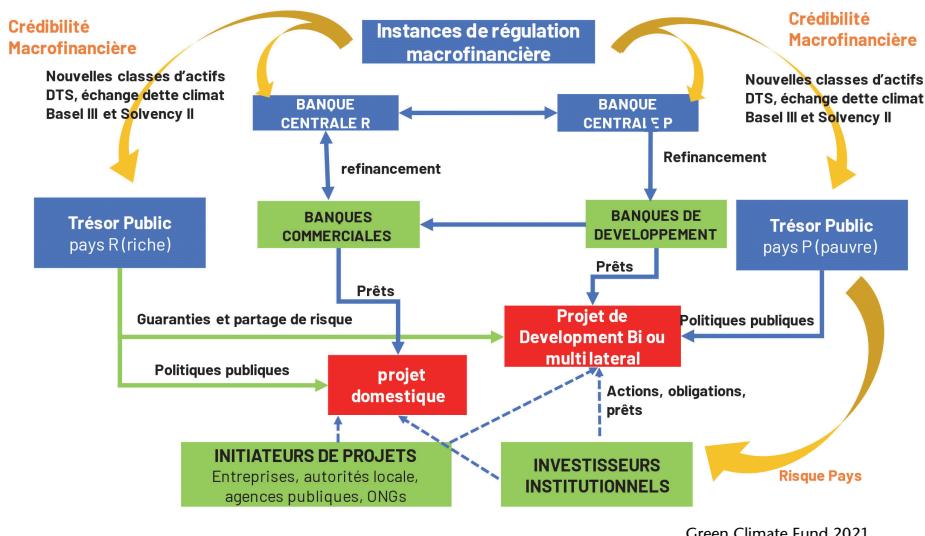
Il semble donc possible de définir les bases d'une coordination économique internationale de l'action climat qui puisse répondre aux urgences économiques et sociales post-Covid. Confiance politique et crédibilité des espérances de gains économiques vont de pair pour qu'elles soient mises en place. L'histoire des négociations climat montre à quel point il est facile de miner la première par des malentendus difficiles à dissiper, comme lors du *lost deal* de La Haye.

Le cercle de confiance à établir entre l'ensemble des acteurs évoqués dans les deux sections précédentes est figuré par la figure 2. Il y a les initiateurs de projets, porteurs de risque en premier ressort, et les co-financeurs qu'ils mobilisent. Les États ont en main l'enclenchement de ce cercle de confiance par leur engagement dans le partage des risques et par la cohérence de leurs politiques générales (fiscalité, politiques tarifaires, emploi, formation professionnelle, R&D) avec les politiques climatiques. Les banques entrent ensuite en jeu par l'offre de prêts à bas taux mais elles ne le feront que si elles peuvent inscrire dans leur bilan, en collatéral de leurs prêts, des actifs crédibles aux yeux des banques centrales dans les opérations de refinancement. Viennent enfin la régulation et la notation macro-financière avec des actifs bas-carbone suffisamment crédibles, y compris du point de vue de leur contribution environnementale, pour être reconnus dans les opérations entre banques centrales et reportés dans les comptes publics des pays.

La difficulté d'un accord sur les composantes d'un tel cercle vertueux vient de ce que les évolutions du système financier représentées dans le haut du graphe touchent à des éléments de régulation

macro-financière à la fois très sensibles parce que relevant de traditions différentes sur la neutralité microéconomique des politiques bancaires et hors de la compétence de la convention climat. On a donc aujourd’hui une fragmentation des points de contact des responsables de haut niveau de la communauté internationale et l’enjeu est de savoir quel accord à la COP28 peut faciliter l’enclenchement d’évolutions qui seront peu à peu reprises dans d’autres enceintes.

Figure 2. Partenaires et composants d'un cercle de confiance



Dans l'enceinte des COPs, un préalable à la confiance est de remplir l'engagement des « plus de 100 G\$ » par an de transferts Nord-Sud, et ce dans des formes qui n'altèrent pas l'autonomie de choix des pays dans leurs stratégies de développement. Une source de malentendu pourrait être le « climate-debt swap » par lequel les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la France se sont engagés, à la COP26, à annuler la dette d'Eskom, principal fournisseur d'électricité sud-africain en quasi faillite, en échange du gel immédiat puis de la régression des centrales à charbon. On ne peut qu'espérer que les conditions de réussite d'une opération socialement et techniquement délicate soient réunies mais le risque existe d'un soupçon de retour aux pratiques d'antan où les pays européens jouaient sur les faiblesses des régions sur lesquelles ils étendaient leur empire.

La défiance pourrait aussi venir des procédures de « climate transparency » (Blended Finance Taskforce, 2018a) ou de taxonomie dans lesquelles s'engage le système financier pour verdier les portefeuilles d'investissement en pénalisant ou en excluant les options brunes. En effet il y a peu de chances pour que les critères, par ailleurs fragiles⁹, de verdissement des portfolios financiers soient en ligne avec les trajectoires de développement bas carbone de tel ou tel pays qui a encore besoin de ciment, matériaux de construction, gaz, voire pétrole alors que la façon la plus efficace de couper les émissions tout en promouvant la fourniture des besoins essentiels passe chez lui par la substitution au bois de feu pour la cuisson (en Afrique) ou par des moteurs électriques ou plus efficaces pour les *rickshaws* (Inde et Asie du Sud-Est)¹⁰.

C'est à ce niveau, celui du rétablissement de la confiance dans le respect de l'engagement des 100G\$ que les dispositifs multilatéraux de garanties évoqués précédemment peuvent jouer un rôle. Ils n'ont pas pour vocation de se substituer aux sources de financement existantes mais à aider à réduire les inconvénients de leur fragmentation en fournant un point d'appui pour de meilleures synergies entre banques et agences de développement, nationales ou internationales de développement comme commence à le faire de Fonds Vert Climat désormais. Un point important est ici de mieux intégrer les banques locales des pays. Elles sont essentielles pour mobiliser l'épargne locale, ce qui permet d'augmenter la part de la dette émise en monnaie du pays bénéficiaire des prêts.

La clef de la crédibilité aux yeux des porteurs de projets, des marchés financiers et des opinions publiques est un accord autour de procédures transparentes de sélection des projets et de calibrage des garanties procédures dont le coût n'obèrera pas les risques initiaux des projets, obstacle dirimant pour les projets de petite taille. L'enjeu est, vue l'expérience des fonds verts et du mécanisme de développement propre (Shishlov et Bellassen, 2012) de calculer, dans un

9. Une des difficultés non résolues est la quantification de l'empreinte carbone des portefeuilles au-delà du scope 1 : les émissions directes, avec de sérieuses difficultés pour le scope 2, les émissions indirectes et surtout pour le scope 3 une fois prises en compte toutes les interactions technico-économiques. Sur les limites de ces approches voir Amelie *et al.* (2020).

10. Les *rickshaws* en Inde et en Asie du Sud-Est sont les voitures légères tirées à bras, par des bi ou tricycles ou par des scooters pour le transport des personnes et/ou des marchandises. Ils constituent une source de revenus pour les basses classes sociales et sont indispensables pour pénétrer dans des endroits peu carrossables et étroits. La façon dont ils se motorisent aura un impact important sur le bilan carbone des pays (Sandrine Mathy, 2004).

contexte d'information *ex-ante* imparfaite sur chaque projet, non pas les émissions évitées au cas par cas mais leur espérance mathématique dans un secteur et un espace géographique donné pour garantir l'additionnalité statistique des dispositifs de soutien public (Hourcade *et al.* 2012). Un accord sur une « valeur sociale, économique et environnementale des mesures d'atténuation [et] leurs co-bénéfices » (article 108 de la décision de l'Accord de Paris), permettrait de la retenir comme valeur notionnelle des émissions évitées pour calibrer les garanties et assurer l'efficacité économique globale du portefeuille de projets financés (Dasgupta *et al.*, 2019). Il y a ces dernières années, un ensemble de réflexions autour de méthodes standardisées éventuellement utilisables par une tierce expertise (USAID, 2017 ; BFTF, 2018b ; Lee *et al.*, 2018 ; Schiff et Dithrich, 2017 ; MDB, 2019) et des propositions de test de méthodologies capitalisant sur l'expérience acquise¹¹.

L'existence d'un cadre multilatéral accélérerait la convergence de ces efforts et l'émergence de modalités d'évaluation reconnues par tous. Cette émergence aurait trois avantages. Elle faciliterait d'abord le regroupement et la titrisation de projets inférieurs à 100 millions de dollars, seuil minimal pour intéresser les gestionnaires d'actifs (Andersson *et al.*, 2016 ; Arezki *et al.*, 2016 ; BFTF, 2018a), et aiderait à la construction de plateformes de projets (Arezki *et al.*, 2016) pour de nouvelles formes de partenariats privé-public (Déau et Touati, 2017). Elle faciliterait aussi l'émergence d'actifs bas carbone pour répondre à la demande des gestionnaires de fonds institutionnels de « *creating long-term, durable returns to investing in climate in developing countries with sovereign guarantees* » (Schatzker, 2021) pour qu'ils s'impliquent dans des projets de durée bien plus longue que les 5 à 8 ans qui leur sont familiers (Bolton *et al.*, 2011). Cette émergence est importante enfin au niveau macro-financier pour que les agences de notation puissent les reconnaître comme collatéraux de nouvelle dettes, le Comité de Bâle pour satisfaire aux exigences de liquidité des règles de Bâle III (Sirkis *et al.*, 2015) et les banques dans les paiements interbancaires¹². Elle

11. On mentionnera le Global Innovation Lab for Climate Finance (<https://www.climatefinancelab.org/>), the Fast Infra framework of the World Bank (<https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2020/12/FAST-Infra-Conference-Presentation-Slides-Nov-2020.pdf>) et J.-P. Pham-Ba, A. Legrain (2020), « Well below 2cts », Terrawatt Initiative, <https://terrawatt.org>). Pour une vision d'ensemble des principes méthodologiques à lever dans de tels essais et de la possibilité de mobilisation des acquis des modèles de prospective intégrée, voir Hourcade *et al.*, 2012).

12. On peut voir là l'émergence d'une monnaie carbone acceptée comme monnaie de réserve (Hourcade *et al.*, 2012).

permettra enfin de donner aux pays charbonniers, pétroliers et gaziers un lieu crédible de réinvestissement de leurs rentes minières.

Le moteur de ce cercle de confiance est la production immédiate de gains réciproques entre des pays en développement recevant, *via* des prêts à bas taux grâce à des garanties AAA, un équivalent don de plus de 100 milliards de dollars par an en plus d'apports de capitaux étrangers allant jusqu'à 300 milliards de dollars par an et des pays développés équilibrant aisément le coût des garanties pour leurs comptes publics par les revenus d'exportation vers les marchés d'infrastructure ainsi ouverts (pour les évaluations numériques, voir Hourcade *et al.*, 2021).

4. Conclusion

Nous nous sommes centrés ici sur les conditions d'un enclenchement quasi immédiat d'une transition bas carbone mondiale, celles qu'un succès de COP28 pourrait établir si, contrairement à ce qui s'est passé à COP26, on en cerne bien à la fois les termes économiques et les contraintes diplomatiques venant de l'histoire de la négociation climat et des rapports de force géopolitiques actuels.

Il est clair, puisque l'enjeu est celui d'une redirection de l'épargne et des flux de capitaux dans le monde, que les politiques climatiques sont indissociables de la réduction des lignes de faille de l'économie mondiale. Comme le résume Raghuram Rajan (2011), elle vient de l'incertitude sur la protection sociale qui conduit à des formes d'épargne privée avec une faible prise de risque sur l'investissement productif et une préférence pour les rentes, un impératif exportateur au détriment des marchés domestiques et un système financier marqué par la « tragédie des horizons » (Carney, 2015). Les dispositifs décrits ici parce que négociables à la COP28¹³ ont une portée plus modeste mais ouvrent la voie à des changements systémiques plus ambitieux.

13. Des suggestions comme un impôt sur la richesse ou la baisse des investissements en armement ont leur vertu mais peu de chances d'être adoptées par la communauté internationale à un terme compatible avec l'accélération de l'action climat dans les cinq ans qui viennent. Elles supposent de modifier profondément les engrenages économiques et politiques qui ont présidé à la mise en place d'un mode de croissance par inégalités et des tensions géopolitiques actuelles. On ne peut le faire au détour des politiques climat même si, on l'a vu, ces politiques peuvent contribuer à une telle modification.

Les valeurs sociales du carbone utilisées pour le dérisquage des investissements bas carbone, fixés à des niveaux bien plus élevés que des taxes parce qu'ils ne heurtent pas les stocks de capital existants et le dérisquage permettraient d'augmenter progressivement l'attractivité de la fiscalité carbone en accroissant le volume d'investissement induit par un niveau donné de taxe et son impact sur l'activité générale et l'emploi. Avec une certification implicite des projets concernés, ceux-ci pourraient être intégrés dans les schémas de transparence climatique du monde financier et contribuer ainsi à leur crédibilité. On accélérerait ainsi la formation d'une nouvelle classe d'actifs qui donnerait au système financier un ancrage dont l'absence menace la stabilité du système financier moderne (Borio, 2014 ; Borio et Drehmann, 2018 ; Jordà, 2017).

Enfin, de tels dispositifs permettraient, en convoquant l'épargne privée pour financer des secteurs porteurs de services marchands, aux banques de développement et à l'aide publique au développement de concentrer leurs moyens aux bien publics locaux difficilement « marchandisables » et qui sont essentiels pour l'adaptation aux impacts du changement climatiques.

Références

- Abiad A., Furceri D. et Topalova P., 2014, *IMF survey: The time is right for an infrastructure push*. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/News/Articles/2015/09/28/04/53/sores093014a>
- Ameli N., Drummond P., Bisaro A., Grubb M. et Chenet H., 2020, « Climate finance and disclosure for institutional investors: why transparency is not enough », *Climatic Change*, vol. 160, n° 4, pp. 565-589. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02542-2>
- Andersson M., Bolton P. et Samama F., 2016, « Hedging climate risk », *Financial Analysts Journal*, vol. 72, n° 3, pp. 13-32. <https://doi.org/10.2469/faj.v72.n3.4>
- Attridge S. et Engen L., 2019, *Blended finance in the poorest countries: the need for a better approach*. ODI Report. <https://cdn.odi.org/media/documents/12666.pdf>
- Arezki R., Bolton P., Peters S., Samama F. et Stiglitz J., 2017, « From global savings glut to financing infrastructure », *Economic Policy*, vol. 32, n° 90, pp. 221-261.
- Auerbach A. J. et Gorodnichenko Y., 2012, « Measuring the output responses to fiscal policy », *American Economic Journal: Economic Policy*, vol. 4, n° 2, pp. 1-27.

- Batini N., di Serio M., Fragetta M., Melina G. et Waldron A., 2021, « Building back better: How big are green spending multipliers? », (IMF Working Paper No. 2021/087. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/03/19/Building-Back-Better-How-Big-Are-Green-Spending-Multipliers-50264>
- Bhattacharya A., Meltzer J. P., Oppenheim J., Qureshi Z. et Stern N., 2016, *Delivering on sustainable infrastructure for better development and better climate*. Brookings Institution. <https://www.brookings.edu/research/delivering-on-sustainable-infrastructure-for-better-development-and-better-climate>
- Black A. et Fraser P., 2002, « Stock market short-termism. An international perspective », *Journal of Multinational Financial Management*, vol. 12, n° 2, pp. 135-158. [https://doi.org/10.1016/S1042-444X\(01\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S1042-444X(01)00044-5)
- Blanchard O. et Leigh D., 2013, « Growth forecast errors and fiscal multipliers », *IMF Working Paper*, n° 13/1. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Growth-Forecast-Errors-and-Fiscal-Multipliers-40200>
- Blanchard O., 2019, « Public debt and low interest rates », *American Economic Review*, vol. 109, n° 4, pp. 1197-1229.
- Blended Finance Taskforce, 2018a, *Better finance, better world: Consultation paper of the Blended Finance Taskforce*. <https://www.blendedfinance.earth/better-finance-better-world>
- Blended Finance Taskforce, 2018b, Blended Finance Taskforce calls to scale up the issuance and use of development guarantees. https://static1.squarespace.com/static/5ac_dc066c258b4bd2d15050b/t/5ce3b9672fcbf70001cb5632/1558428008310/Development+Guarantees_Blended+Finance+Taskforce_2018.pdf
- Bolton P., Musca X. et Samama F., 2020, « Global public?private investment partnerships: A financing innovation with positive social impact », *Journal of Applied Corporate Finance*, vol. 32, n° 2, pp. 31-41. <https://doi.org/10.1111/jacf.12403>
- Borio C., 2014, « The financial cycle and macroeconomics: What have we learnt? », *Journal of Banking and Finance*, vol. 45, n° 1, pp. 182-198. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2013.07.031>
- Borio C., Drehmann M. et Xia D., 2018, « The financial cycle and recession risk », *BIS Quarterly Review*, December, pp. 59-71. https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1812g.htm
- Bulow J., Reinhart C., Rogoff K. et Trebesch C., 2021, « The debt pandemic », *Finance and Development*, IMF. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2020/09/debt-pandemic-reinhart-rogoff-bulow-trebesch.htm>
- Bushee B. J., 2001, « Do institutional investors prefer near-term earnings over long-run value? », *Contemporary Accounting Research*, vol. 18, n° 2, pp. 207-246. <https://doi.org/10.1506/J4GU-BHWH-8HME-LE0X>

- Carney M., 2015, *Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability* [Speech]. BIS central bankers' speeches, London. <https://www.bis.org/review/r151009a.pdf>
- Chiroleu-Assouline M. et Fodha M., 2014, « From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms », *European Economic Review*, n° 69, pp. 126-142. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2013.12.006>
- Dasgupta D., Hourcade J. C. et Nafo S., 2019, *A climate finance initiative to achieve the Paris agreement and strengthen sustainable development*. A report to the Minister of Ecological and Solidarity Transition, avril. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02121231/document>
- Denhez F., 2019, *La cause végane : un nouvel intégrisme*, Buchet-Chastel.
- Froud J., C. Haslam, S. Johal et K. Williams, 2000, « Shareholder value and financialization: Consultancy promises, management moves », *Economy and Society*, n° 29, pp. 80-110. <https://doi.org/10.1080/030851400360578>
- Geichert S. et Rannenberg A., 2018, « Which fiscal multipliers are regime-dependent? A met regression analysis », *Journal of Economic Surveys*, vol. 32, n° 4, pp. 1160-1182. <https://doi.org/10.1111/joes.12241>
- Global Infrastructure Hub, 2017, *Global infrastructure outlook: Infrastructure investment needs 50 countries, 7 sectors to 2040*. Oxford Economics. <https://cdn.github.org/outlook/live/methodology/Global+Infrastructure+Outlook+-+July+2017.pdf>
- Goulder L. H., 1995, « Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: An intertemporal general equilibrium analysis », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 29, n° 3, pp. 271-297. <https://doi.org/10.1006/jeem.1995.1047>
- Gouvello C. de et Zelenko I., 2010, *A financing facility for low-carbon development in developing countries*. The World Bank. <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-0-8213-8521-0>
- Gross R., Blyth W. et Heptonstall P., 2010, « Risks, revenues and investment in electricity generation: Why policy needs to look beyond costs », *Energy Economics*, vol. 32, n° 4, pp. 796-804. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.09.017>
- Hallegatte S., Bangalore M., Bonzanigo L., Fay M., Kane T., Narloch U., Rozenberg J., Treguer D. et Vogt-Schilb A., 2015, *Shock waves: Managing the impacts of climate change on poverty*. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/22787>
- Hirth L., Steckel J. C., 2016, « The role of capital costs in decarbonizing the electricity sector », *Environmental Research Letters*, vol. 11, n° 11, p. 114010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114010>
- Holmstrom B., 1979, « Moral hazard and observability », *The Bell Journal of Economics*, vol. 10, n° 1, pp. 74-91. <https://doi.org/10.2307/3003320>
- Hourcade J. C., Périsson-Fabert B. P. et Rozenberg J., 2012, « Venturing into uncharted financial waters: An essay on climate-friendly finance »,

International Environmental Agreements: Politics, Law, and Economics, n° 12, pp. 165-186. <https://doi.org/10.1007/s10784-012-9169-y>

Hourcade J. C., Shukla P. R. et Mathy S., 2008, « Cutting the Climate-Development Gordian Knot. Economic options in a politically constrained world in Roger Guesnerie et Henry Tulkens, *The design of Climate Policy*, The MIT Press, p. 75. ?halshs-00366286?

Hourcade J. C., Salles J. M. et D. Théry, 1992, « Ecological economics and scientific controversies. Lessons from some recent policy making in the EEC », *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 6, n° 3, pp. 211-233. ?10.1016/0921-8009(92)90026-O?. ?hal-02961810?

Hourcade J. C., Glemarec Y, Coninck H. de et Bayat-Renoux F., 2021a, Scaling up climate finance in the context of Covid-19: A science-based call for financial decision-makers, Green Climate Fund.

Hourcade J. C., Dasgupta D. et Ghersi F., 2021b, « Accelerating the speed and scale of climate finance in the post-pandemic context », *Climate Policy*, vol. 21, n° 10, pp. 1383-1397.

IMF, 2014, « Is it time for an infrastructure push? The macroeconomic effects of public investment », In *World economic outlook*, Octobre : *Legacies, clouds, uncertainties*. <https://10.5089/9781498331555.081>

IMF, 2021, *Managing-Director-announces-the-us-650-billion-sdr-allocation-comes-into-effect*, <https://www.imf.org/fr/News/Articles/2021/08/23/pr21248-imf-managing-director-announces-the-us-650-billion-sdr-allocation-comes-into-effect>

IPCC, 2014, *Summary for Policy-Makers, Climate change 2014: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.

IPCC, 2018, « Global warming of 1,5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways », in IPCC, *The context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.

Iyer G., Clarke L. E., Edmonds J. A., Flannery B. P., Hultman N. E., McJeon H. C. et Victor D. G., 2015, « Improved representation of investment decisions in assessments of CO2 mitigation », *Nature Climate Change*, n° 5, pp. 436-440. <https://doi.org/10.1038/nclimate2553>

Jordà O., Schularick M. et Taylor A.M., 2017, « Macrofinancial history and the new business cycles facts », *NBER Macroeconomics Annual*, n° 31, pp. 213-263. <https://doi.org/10.1086/690241>

Kahouli-Brahmi S., 2009, « Testing for the presence of some features in increasing returns to adoption factors in energy systems dynamics: An analysis via the learning curve approach », *Ecological Economics*, vol. 68, n° 4, pp. 1195-1212. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.013>

- Klenert D., Mattauch L., Combet E., Edenhofer O., Hepburn C., Rafaty R. et Stern N., 2018, « Making carbon pricing work for citizens », *Nature Climate Change*, n° 8, pp. 669-677. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0201-2>
- Krugman P., 2014, « Four observations on secular stagnation » in C. Teulings et R. Baldwin (eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures*, CEPR Press.
- Lee C., Betru A. et Horrock P., 2018, *Guaranteeing the goals: Adapting public sector guarantees to unlock blended financing for the U.N. sustainable development goals*, Milken Institute & OECD. <https://milkeninstitute.org/sites/default/files/reports-pdf/Guaranteeing-the-Goals-FINAL-4.pdf>
- Lefèvre J., Wills W. et Hourcade J. C., 2018, « Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy-economy assessment », *Climate policy*, vol. 18, n° 10, pp. 1286-1295. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1431198>
- Mathy S., 2004, *L'intégration des pays en développement dans les politiques climatiques : application aux secteurs de l'électricité et des transports en Inde*, Thèse de Doctorat de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales.
- Mazzucato M., 2015, « The entrepreneurial state: Debunking public vs. private sector myths », *Public Affairs*. <https://www.publicaffairs-books.com/titles/mariana-mazzucato/the-entrepreneurial-state/9781610396134/>
- Miles D., 1993, « Testing for short termism in the UK stock market », *The Economic Journal*, vol. 103, n° 421, p. 1379. <https://doi.org/10.2307/2234472>
- Mirrlees J. A., 2011, « The theory of moral hazard and unobservable behaviour: Part I » in J. A. Mirrlees (Ed.), *Welfare, incentives, and taxation*, Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198295211.003.0020>
- Mulder N. et Tooze A., 2020, « April 23, The coronavirus oil shock is just getting started », *Foreign Policy*. <https://foreignpolicy.com/2020/04/23/the-coronavirus-oil-shock-is-just-getting-started>
- OECD, 2017, *Investing in climate, investing in growth*. <https://doi.org/10.1787/9789264273528-en>
- OECD, 2020, *OECD economic outlook: Turning hope into reality*. OECD. <https://www.oecd.org/economic-outlook/december-2020/>
- Rachel L. et Summers L. H., 2019, On falling neutral real rates, fiscal policy and the risk of secular stagnation. Brookings Institution, 7 mars. <https://www.brookings.edu/bpea-articles/on-falling-neutral-real-rates-fiscal-policy-and-the-risk-of-secular-stagnation>
- Rajan R., 2011, *Fault Lines: How Hidden Fractures Still Threaten the World Economy*, Princeton University Press.

- Pisany-Ferry J., 2021, « Climate Policy is Macroeconomic Policy and the Implications will be Significant », Peterson Institute for International Economics, *Policy Brief*, n° 20-21.
- Roe M. J., 1994, *Strong Managers, Weak Owners: The Political Roots of American Corporate Finance*, Princeton University Press.
- Roques F. A., Newbery D. M. et Nuttall. W. J., 2008, « Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A mean-variance portfolio theory approach », *Energy Economics*, vol. 30, n° 4, pp. 1831-1849. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.11.008>
- Rozenberg J. et Fay M., 2019, *Beyond the gap: How countries can afford the infrastructure they need while protecting the planet*, The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31291>
- Shan Y., Ou J., Wang D., Zeng Z., Zhang S., Guan D. et Hubacek K., 2020, « Impacts of Covid-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement », *Nature Climate Change*, n°11, pp. 200-206. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00977-5>
- Schatzker E., 2021, « BlackRock's Fink urges World Bank, IMF for a green era », *Economics, Bloomberg News*, Bloomberg, New York.
- Schiff H. et Ditrich H., 2017, « Scaling the use of guarantees in U.S. community Investing », *The Global Impact Investing Network (GIIN)*. <https://thegiin.org/research/publication/guarantees-issue-brief>
- Schmidt T. S., 2014, « Low-carbon investment risks and de-risking », *Nature Climate Change*, n° 4, pp. 237-239. <https://doi.org/10.1038/nclimate2112>
- Shishlov I. et Bellassen V., 2012, *10 Lessons from 10 years of the CDM*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01151437/>
- Sirkis A., Hourcade J. C., Dasgupta D., Studart R., Gallagher K., Perrissin B., Veiga J. E. D., Espagne E., Stua M. et Aglietta M., 2015, *Moving the trillions a debate on positive pricing of mitigation actions*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01692638>
- Stiglitz J. E., Stern N., Duan M., Edenhofer O., Giraud G., Heal G., La Rovere E., Morris A., Moyer E., Pangestu M., Shukla P. R., Sokona Y. et Winkler H., 2017, *Report of the high-level commission on carbon prices*. CPLC. <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-high-level-commission-on-carbon-prices>
- Summers L. H., 2016, « The age of secular stagnation: What it is and what to do about it », *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2016-02-15/age-secular-stagnation>
- Sumner A., Hoy C. et Ortiz-Juarez E., 2020, « Estimates of the impact of Covid-19 on global poverty », *WIDER Working Paper*, n° 2020/43. UNU-WIDER. <https://www.wider.unu.edu/publication/estimates-impact-covid-19-global-poverty>
- Timilsina G. R., Gouvello C. de, Thioye M. et Dayo F. B., 2010, « Clean development mechanism potential and challenges in Sub-Saharan

- Africa », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 15, n° 1, pp. 93-111. <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9206-5>
- UNEP, 2021, *Are We Building Back Better? Evidence from 2020 and Pathways to Inclusive Green Recovery Spending*. <https://www.unep.org/resources/publication/are-we-building-back-better-evidence-2020-and-pathways-inclusive-green>
- United Nations, 2021, *Financing for Sustainable Development. Report 2021*. Inter-agency Task Force on Financing for Development. <https://developmentfinance.un.org/fsdr2021>
- USAID, 2017, *Agency financial report: Helping people progress beyond assistance*. <https://www.usaid.gov/results-and-data/progress-data/agency-financial-report/fy-2017>
- UNWTO, 2020, *International Tourism and Covid-19*. <https://www.unwto.org/international-tourism-and-covid-19>
- Urge-Vorsatz D., Herrero S. T., Dubash N. K. et Lecocq F., 2014, « Measuring the co-benefits of climate change mitigation », *Annual Review of Environment and Resources*, n° 39, pp. 549-582. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031312-125456>
- Waisman H., Bataille C., Winkler H., Jotzo F., Shukla P., Colombier M., Buira D., Criqui P., Fischedick M., Kainuma M., Rovere E. L., Pye S., Safonov G., Siagian U., Teng F. et Trollip H., 2019, « A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies », *Nature Climate Change*, vol. 9, n° 4, pp. 261-268. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0442-8>
- World Bank, 2022, *Global Economic Prospect, a World Bank Group flagship report*, janvier.

PLANIFICATION ÉCOLOGIQUE ET CHANGEMENT STRUCTUREL PERSPECTIVES POUR LA FRANCE

Etienne Espagne

AFD, CERDI (Centre d'Études et de Recherches en Développement International)

Guilherme Magacho

AFD, Cambridge Centre for Economic and Public Policy

La notion de planification écologique fait aujourd’hui l’objet de débats renouvelés. Nous y contribuons sur le volet strictement industriel à partir du cas français. Nous analysons l’exposition de la France à ses industries carbonées en termes d’emplois, de recettes fiscales et de recettes d’exportation, ainsi que les opportunités technologiques relativement disponibles pour la production de biens «verts» utiles à la transition écologique. La France, moins dépendante que l’Allemagne aux secteurs fossiles, doit pouvoir s’engager activement dans la reconstruction d’un appareil industriel «vert» sans craindre de chocs socio-économiques. Ce basculement nécessite de renforcer la coordination des acteurs, la capacité de financement public et le soutien à des innovations territorialisées comme autant de piliers institutionnels d’une véritable planification écologique du tissu industriel français.

Mots clés : planification écologique, neutralité carbone, transition énergétique, politique industrielle, changement structurel

Une forme de consensus semble aujourd’hui émerger sur la nécessité de dépasser les mécanismes de coordination des marchés (taxe ou marché carbone, mais aussi information carbone sur les produits financiers) pour se donner une chance d’atteindre les objectifs de l’Accord de Paris et plus largement de parvenir à ré-encastre les dynamiques économiques et sociales dans les limites planétaires (Steffen *et al.*, 2015). Six ans après l’Accord de Paris, la faiblesse des

résultats en termes de réduction d'émissions et la difficulté à accroître les ambitions, dévoilée au grand jour lors de la COP26 dans le cadre du Pacte Climat de Glasgow ne fait que renforcer l'argument en faveur d'autres modes de coordination et d'action. La confrontation des politiques climatiques européennes, américaines et chinoises semble pointer jusque dans la presse économique (Krahé, 2021) en faveur de formes de coordination hors marché, qui permettent de cibler des soutiens à des industries spécifiques.

En effet, il y a dans le nouvel horizon à long terme de la neutralité carbone à 2050 l'exemple paradigmatique de la transformation structurelle qui ne peut être menée que par un processus de planification écologique. Les recompositions sectorielles nationales et internationales induites par une sortie des combustibles fossiles, comme par le déploiement de nouveaux secteurs industriels sont d'ores et déjà perceptibles. Quelle que soit l'hypothèse faite sur la croissance de la demande au XXI^e siècle, la transition bas carbone représente un redéploiement majeur des activités économiques, et une redistribution des pouvoirs par la redéfinition des ressources essentielles (IEA, 2021). L'idée de planification écologique provient ainsi avant tout du besoin stratégique d'évaluer les conséquences de ces bouleversements pour son propre territoire, qu'il s'agisse de celui d'une région, d'un État, ou d'un groupe d'États tel que l'Union européenne par exemple.

Mais il ne s'agit pas seulement d'effectuer un exercice de prospective indicative, fut-elle concertée entre toutes les parties prenantes (Combet, 2021). La situation de crise énergétique globale actuelle (et notamment des prix du gaz en Europe et de l'approvisionnement en charbon en Asie) dans le contexte de la crise de la Covid-19 fournit à certains (Durand, 2021) une illustration de l'urgence de formes de coordinations beaucoup plus pro-actives des politiques de décarbonation. Viser une décarbonation des économies à l'instar de l'Europe ou de la Chine peut se heurter rapidement, dans un contexte où les prix de marché dominent, à de rapides goulets d'étranglement et des formes de pénuries qui *in fine* agiront politiquement en défaveur de toute réelle transition. La planification écologique se présente donc bien aussi comme un ensemble de leviers économiques à réorienter pour s'engager sur le sentier de crête entre la sortie d'industries déclinantes et l'émergence de nouveaux secteurs.

À cet égard, le pacte vert pour l'Europe (Green Deal), incluant un engagement vers la neutralité carbone du continent à l'horizon 2050, avec une réduction de 55 % des émissions par rapport à leur niveau des années 1990 d'ici à 2030 (*Fit for 55*), représente une indéniable ambition. La stratégie pêche néanmoins dans sa composante industrielle dès lors qu'il s'agirait de faire émerger un tissu productif européen permettant de se positionner dans les chaînes de valeur des technologies vertes. L'approche du marché perdure jusque dans le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières proposé en juillet 2021, aux contours encore flous, mais dont l'objectif est bien de rétablir des conditions optimales de marché par la réduction des risques perçus ou réels de fuite carbone (Magacho *et al.*, 2022). Or les nouveaux secteurs de la neutralité carbone ne peuvent émerger naturellement par le simple fait d'une politique de définition de critères d'investissement et de développement durable, d'une taxonomie verte censée orienter préférentiellement les investissements bancaires et financiers sur ces mêmes secteurs, ou d'un simple signal prix carbone, fût-il récemment rehaussé sur le marché EU-ETS.

Au niveau français, la maîtrise industrielle des secteurs de la transition ne fait pas encore l'objet de réflexions spécifiques. La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), actualisée en 2021, donne à voir une feuille de route générale vers la neutralité carbone en 2050 avec un objectif intermédiaire en 2030 et des budgets carbone à respecter par cycles de quatre ans. Les plans de relance consécutifs à la crise de la Covis-19, tels que France Relance (sur 2020-2022) ou France 2030 (30 milliards d'euros déployés sur 5 ans), comprennent d'importants volets d'investissements qui peuvent être considérés comme climatiques, mais sans aucun lien explicite avec des résultats à atteindre en termes de réductions d'émissions ni de lien clair avec les objectifs européens.

La France dispose certes d'une forte capacité d'analyse prospective. Elle peut être publique avec l'ADEME et ses scénarios vers une neutralité carbone (ADEME, 2021), France Stratégie et ses réflexions sur la construction des politiques publiques d'un monde soutenable¹, le récent Haut-Commissariat au Plan qui s'inquiète de la situation du commerce extérieur français en général² ou la Commission de

1. Voir le site du séminaire « soutenabilité(s) » : <https://www.strategie.gouv.fr/projets/seminaire-soutenabilites>.

2. Voir sa note sur « Reconquête de l'appareil productif : la bataille du commerce extérieur » : https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/12/reconquete_de_lappareil_productif_-la_bataille_du_commerce_exterieur_.pdf.

Régulation de l'Énergie (CRE) et ses scénarios de *mix* énergétique permettant la neutralité carbone à l'horizon 2050³. Elle est également scientifique avec des laboratoires de modélisation intégrée comme le CIRED (et le modèle IMACLIM France) ou l'OFCE (avec le modèle Three-ME), ou encore privée ou parapublique avec de nombreux laboratoires d'idées tels que le Shift Project, NegaWatt, I4CE, Terra Nova, l'Institut Veblen ou l'Institut Rousseau. En émane une vision sectorielle forte de la transition au sein d'une relative intégration des contraintes macroéconomiques d'ensemble, notamment européennes.

Néanmoins, la réflexion sur la dimension temporelle et stratégique de la transition dans une perspective de transformation industrielle reste encore limitée. Une transition écologique ne peut se penser comme un changement incrémental des prix relatifs. Il s'agit plutôt d'un changement structurel des modes de consommation comme de production, qui tend dans un second temps seulement à affecter les prix relatifs. Mais comment coordonner les acteurs économiques de manière efficace autour d'une stratégie de transition ? De quelle manière la France est-elle positionnée vis-à-vis d'un risque de transition trop rapide, ou vis-à-vis des nouveaux secteurs de la neutralité carbone ? Quels devraient être ses axes prioritaires d'investissement dans une dynamique de construction d'une politique industrielle verte ? Quels outils de planification permettent-ils de soutenir un tel déploiement industriel ?

Cet article se propose de contribuer au débat naissant (Aglietta et Espagne, 2018 ; Plihon, 2020 ; Durand et Espagne, 2022 ; Pisani-Ferry, 2022) sur les formes de la planification écologique à mener en se concentrant sur le volet de l'offre industrielle. D'un point de vue industriel, la transition écologique peut être vue comme un processus de changement structurel rapide dans lequel les industries polluantes (ou fortement émettrices en gaz à effet de serre) déclinent tandis que des industries permettant de réduire les émissions liées à la production et à la consommation émergent à la suite de politiques environnementales délibérées ou de changements technologiques éventuellement subis (PRA, 2015 ; Semeniuk *et al.*, 2021). L'exposition d'une économie à ce double processus dans toutes ses dimensions sociales, économiques et territoriales est un axe essentiel de réflexion pour construire une planification écologique. Cet article exclut ce faisant des pans importants de

3. <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>.

ce que pourrait couvrir une planification écologique, et notamment la question de la maîtrise et de l'orientation de la consommation, des politiques sociales pour faire émerger une sécurité sociale écologique (Viennot, 2020) ou encore n'aborde que partiellement la dimension territoriale nécessaire à une planification écologique.

Afin de conduire une analyse de la nécessité d'une planification écologique de type industriel, l'article s'organise en considérant successivement trois sujets reliés :

- l'exposition de la France dans l'hypothèse d'une élimination de ses secteurs les plus carbonés, en termes d'emplois, de recettes fiscales et de recettes d'exportation (devises étrangères) ;
- la proximité relative du tissu productif français et en particulier des produits les plus compétitifs (exportables) aux industries/technologies de la transition écologique ;
- les leviers institutionnels à construire ou existants en France pour mettre en œuvre une politique de transition sur le plan industriel.

1. Exposition relative de la France aux industries « déclinantes »

Dans une première étape d'analyse, nous dégageons les ressorts de la dépendance de l'économie française vis-à-vis des industries potentiellement déclinantes dans le contexte d'une transition bas carbone. Le déclin de ces industries pourrait en effet entraver la transition, si leur progressive disparition devait générer des déséquilibres macroéconomiques, socio-économiques, ou politiques, qui viendraient remettre en cause l'opportunité même de la transition. Ce phénomène apparaît déjà clairement ces derniers mois à l'échelle internationale à propos de la question du charbon, notamment dans les pays asiatiques. Qu'en est-il donc des industries « déclinantes » pour la France et de l'exposition du pays à ces industries ?

Encadré 1. Mesure des expositions par les matrices entrée-sortie multi-régionales (Mrio)

Espagne *et al.* (2021) ont développé une méthodologie pour analyser la dépendance des pays vis-à-vis des industries en déclin, en tenant compte non seulement de leur impact direct, mais aussi de leur interrelation productive, sur la base du tableau entrée-sortie multi-régional EORA (Lanzen *et al.*, 2013). Cela nous permet d'identifier les pays les plus exposés à la transition

vers une économie à faible émission de carbone dans différentes dimensions (dimensions externe, fiscale et socio-économique), du fait de l'importance relative de leurs industries « déclinantes ». Il est aussi possible d'analyser quels sont les pays les plus vulnérables en fonction de leur capacité à basculer des industries en déclin vers les industries considérées comme vertes. Nous appliquons cette méthode au cas de la France. Par rapport à l'approche d'Espagne *et al.* (2021) néanmoins, plutôt que d'utiliser EORA, nous utilisons la base MRIO EXIObase-EORA, qui combine la base de données EORA et la base de données EXIObase (Cabernard et Pfister, 2021), permettant ainsi une meilleure désagrégation sectorielle des 26 secteurs d'EORA en 163 industries.

En suivant Espagne *et al.* (2021), trois dimensions différentes sont considérées dans l'analyse : externe, fiscale et socio-économique.

Dans le but d'évaluer l'exposition externe, nous calculons le revenu net en devises étrangères induit par les industries déclinantes (exportations ajustées des intrants importés, directs et indirects utilisés dans la production), qui est obtenue comme suit :

$$nx_{i,j} = ex_{i,j} (1 - im_{i,j}) \quad (1)$$

où nx_i est le revenu net en devises étrangères de l'industrie i pour le pays j , représente les exportations de l'industrie i pour le pays j , et $im_{i,j}$ l'ensemble (direct et indirect⁴) des intrants importés nécessaires à la production de l'industrie i dans le pays j .

Les exportations sont obtenues directement à partir du tableau des entrées-sorties, tandis que les intrants importés incorporés sont obtenus comme suit :

$$im = i^T [A^M (I - A)^{-1}] \quad (2)$$

avec im le vecteur total des intrants importés, i vecteur colonne de 1 (T indique la transposée), A est la matrice entrée-sortie multi-régionale, et A^M est cette même matrice avec tous les éléments domestiques mis à zéro.

Pour l'estimation des dépendances fiscale et socio-économique, nous devons aussi tenir compte à la fois des impacts directs et indirects. De nouveau, en suivant Espagne *et al.* (2021), nous estimons d'abord la production totale par secteur qui est liée directement et indirectement aux industries en déclin puis, sur la base de la fiscalité, des salaires et de l'emploi par secteur, nous calculons la part de chacune de ces variables qui est liée aux industries en déclin.

Tout d'abord, nous devons calculer la production totale qui n'est pas liée aux industries en déclin, comme suit :

$$x_n = (I - A) y_n \quad (3)$$

avec x_n la production totale des industries non déclinantes, A_n est la matrice entrée-sortie multi-régionale avec toutes les lignes correspondant aux indus-

4. Comprend les intrants directs dans le processus de production et tous les intrants nécessaires pour produire ces intrants (indirects).

tries déclinantes mises à zéro, et y_n est le vecteur de demande finale avec toutes les lignes correspondantes aux industries déclinantes mises à zéro.

Nous calculons ensuite la part de la variable k qui est reliée aux industries déclinantes :

$$s_k = 1 - (x_n^T k) / (x^T k) \quad (4)$$

avec s_k la part directe et indirecte de la production des industries déclinantes dans la production totale (k est un vecteur unitaire), ou la part directe et indirecte des industries déclinantes dans les recettes fiscales, les salaires et l'emploi (k est la fiscalité sectorielle, la masse salariale, et l'emploi par unité de production, respectivement).

1.1. Définition des industries déclinantes

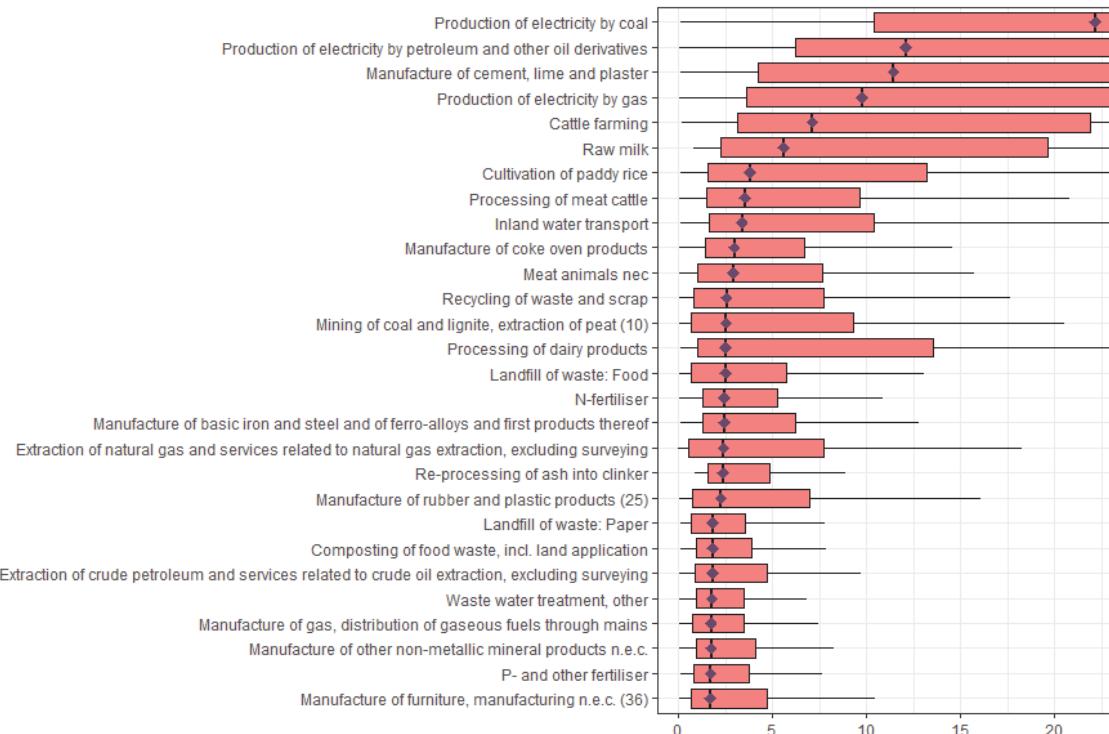
La définition des industries en déclin est fondée sur des critères quantitatifs et qualitatifs. Comme on peut le voir sur le graphique 1, l'énergie provenant des combustibles fossiles, les produits issus des pâturages et quelques matériaux de construction, tels que le ciment et le fer, présentent une forte intensité de carbone en général. Ces secteurs, qui représentent respectivement la source de la dé-carbonisation de l'électricité, la réduction de la production alimentaire d'origine animale et des matériaux de construction à forte intensité de carbone, sont usuellement considérés comme des pivots de la décarbonation des économies (BID et DDPLAC, 2019).

Sur cette base empirique au niveau mondial, nous définissons les secteurs suivants comme des industries déclinantes :

- Production d'électricité par le charbon, par le pétrole et ses dérivés et par le gaz ;
- Ciment, chaux et plâtre et fabrication de fer et d'acier de base ;
- Élevage de bovins, lait cru et transformation de la viande bovine ;
- Extraction de charbon et de lignite et extraction de gaz naturel et de pétrole brut.

À noter que dans cette classification, le gaz est considéré comme un secteur devant décliner tandis que le nucléaire est considéré comme un secteur non déclinant. Cette classification ne reflète donc pas parfaitement la taxonomie verte telle qu'elle est discutée au sein de l'Union européenne actuellement.

Graphique 1. Émissions de GES (kg de CO₂e par USD de production) des industries les plus émettrices, répartition mondiale



Lecture : émissions de GES (kg de CO₂e par USD de production) des industries les plus émettrices, répartition mondiale (point : valeur médiane ; boîte : 2^e et 3^e quartiles ; lignes : valeurs minimales et maximales)

Note : notre traduction des secteurs d'EXIObase est présentée en Annexe 1.

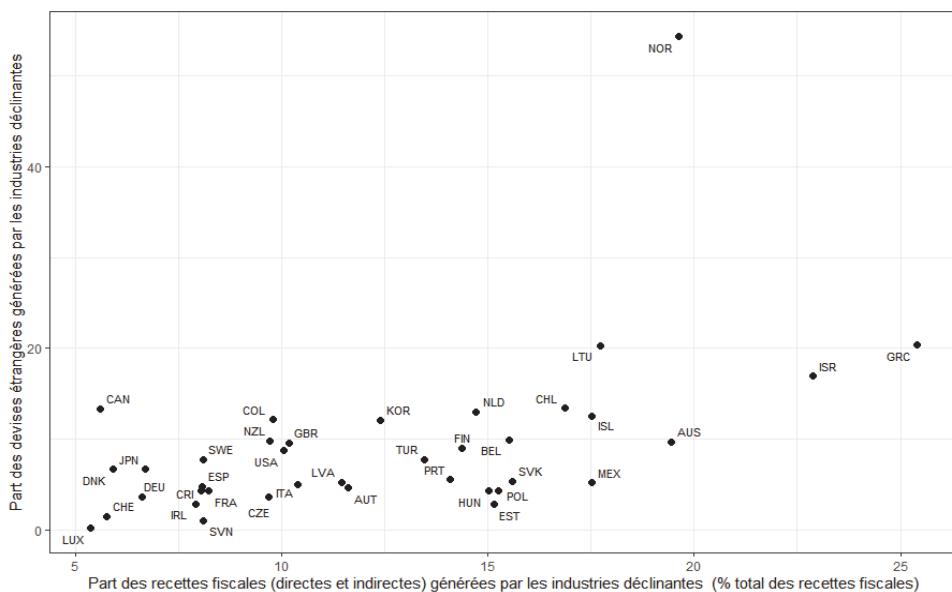
Estimations des auteurs, à partir de la base de données EXIO-EORA construite par Cabernard et Pfister, 2021.

Expositions fiscale, externe, et socio-économique

Nous pouvons maintenant estimer l'exposition de la France à une transition bas carbone dans les trois dimensions mentionnées ci-dessus et la mesurer en comparaison avec les autres pays de l'OCDE.

Le graphique 2 présente l'exposition des pays dans les dimensions externe et fiscale. Sur l'axe vertical, la part des devises générées par les industries en déclin (voir encadré) est présentée comme la part de ces industries dans les exportations totales, ajustée des intrants importés nécessaires pour produire ces exportations. Sur l'axe horizontal, nous présentons l'importance des industries en déclin dans la collecte des recettes fiscales, qui est calculée comme la part des impôts dans ces industries et les intrants directement ou indirectement incorporés dans les industries en déclin.

Graphique 2. Exposition des pays de l'OCDE vis-à-vis des recettes fiscales (axe des abscisses) et des recettes en devises étrangères (axe des ordonnées) des industries déclinantes



Note : Une liste des codes pays est présentée en Annexe 2.
Estimations des auteurs, à partir de la base de données EORA-26.

Comme on peut le constater, la France ne peut pas être considérée comme un pays fortement exposé à la transition vers une économie à faible émission de carbone, du moins si on la place vis-à-vis des pays de l'OCDE. Moins de 5 % de la collecte nette de devises étrangères provient de ces industries, ce qui place la France parmi les pays les moins dépendants. En termes de recettes fiscales, même si la dépendance est plus élevée (environ 7 % des recettes fiscales proviennent directement ou indirectement des industries en déclin), la France reste un pays à faible dépendance fiscale vis-à-vis de ces industries. La faible exposition des pays à la transition vers une économie à faible émission de carbone a généralement deux explications principales. Certaines économies industrialisées, comme la Suisse ou le Japon, ont déplacé leur base industrielle sans pour autant se désindustrialiser, et dépendent ainsi moins des industries à fortes émissions pour générer des recettes fiscales et extérieures. D'autres pays, en revanche, dépendent peu des industries à fortes émissions parce qu'ils se sont désindustrialisés au cours des dernières décennies, ce qui semble être le cas de la France, comme nous le verrons dans la section suivante.

En termes d'exposition socio-économique, résumée ici par l'importance en emplois et en masse salariale, la France est dans une situation *a priori* encore meilleure. Le graphique 3 montre ainsi l'importance des industries en déclin en termes de salaires sur l'axe vertical et en termes d'emploi sur l'axe horizontal (en considérant les intrants directs et indirects incorporés dans la production des industries en déclin). La France fait partie des pays qui dépendent le moins des industries en déclin en termes de salaires et d'emploi, ce qui indique que les emplois bien rémunérés ne se trouvent pas dans ces industries ou dans les industries qui fournissent des intrants aux industries en déclin. Néanmoins, le cas extrême d'une perte brutale de ces secteurs conduirait à une hausse du taux de chômage de 5 points, ce qui a un impact non négligeable sur les équilibres sociaux. Penser l'assurance chômage et plus largement la protection sociale pour accompagner spécifiquement les dynamiques de la transition apparaît comme une composante clé d'une planification écologique socialement juste.

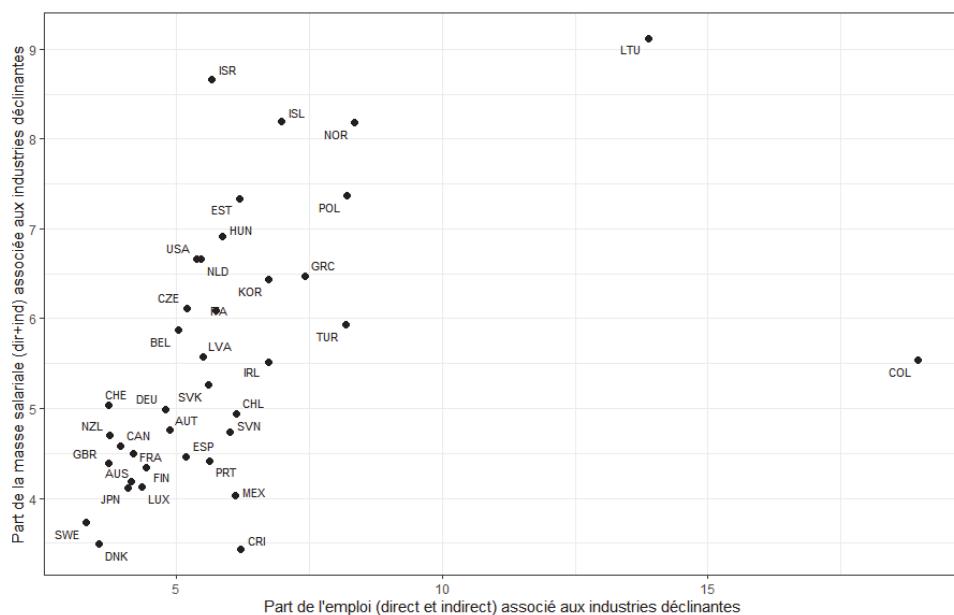
Ces résultats sont importants pour comprendre dans quelle mesure (et à quelle vitesse) la France peut s'engager dans une trajectoire de transition à faible émission de carbone sans faire face à des contraintes externes, fiscales ou socio-économiques. Les résultats montrent que, par rapport aux pays de l'OCDE, le pays est dans une situation plutôt

positive car il ne dépend pas des industries qui seront impactées le plus négativement (directement ou indirectement).

Il ne faut pas en conclure bien sûr que la France n'a rien à craindre à freiner la dynamique de transition. Elle est d'abord très exposée sur le plan des modes de consommation, comme l'a notamment montré la crise des Gilets jaunes. Mais elle a surtout d'autant plus d'intérêt à promouvoir une politique industrielle décarbonée qu'une telle stratégie ne l'éloignera pas trop fortement de sa structure industrielle existante et qu'elle pourra bénéficier d'un certain nombre d'atouts.

Par conséquent, il est nécessaire de concevoir les politiques de transition vers une économie à faible émission de carbone en France de sorte qu'elles stimulent en même temps la production dans ces nouveaux secteurs industriels afin de ne pas favoriser les importations en produits « carbonés » en raison d'une offre nationale insuffisante de produits de substitution « décarbonés ». Il s'agit bien de permettre à une plus grande partie de la demande à venir d'être produite sur le territoire.

Graphique 3. Exposition des pays des industries déclinantes aux emplois (axe des abscisses) et aux salaires directs et indirects (axe des ordonnées). Pays de l'OCDE



Estimations des auteurs, à partir de la base de données EORA-26.

2. Opportunités technologiques « vertes » pour la France

Nous nous tournons maintenant vers les opportunités industrielles d'une transition bas carbone pour la France. La promotion des industries vertes est un outil fondamental pour s'assurer que la demande de produits réduisant les impacts environnementaux sera absorbée en bonne partie au niveau national. Les technologies économes en ressources, les énergies renouvelables, les instruments de gestion de la pollution et de nombreuses autres industries vertes gagneront en importance au cours des années et des décennies à venir du fait de la transition écologique. Les pays capables de produire ces biens seront confrontés à des contraintes économiques moindres pendant la période de transition et seront par ailleurs en mesure de fournir ces biens aux autres économies, garantissant ainsi une insertion dans les marchés des pays émergents comme développés (Voltz *et al.*, 2021).

Or les produits verts varient considérablement en termes de sophistication technologique. La production de biens plus sophistiqués exige des capacités spécifiques que seuls quelques pays possèdent. A contrario, la production de biens moins sophistiqués est plus facile mais moins rentable du point de vue des entreprises et des pays. L'approche de la complexité économique (Hausmann *et al.*, 2014 ; Hidalgo et Hausmann, 2009) permet de comparer les produits en termes de sophistication technologique et, sur la base des données commerciales, évalue quels sont les pays ayant la plus grande capacité à produire ces biens. Essentiellement, sur la base du groupe de produits pour lesquels les pays ont des avantages comparatifs révélés, ces auteurs identifient les produits par ordre de complexité, ainsi que ceux des produits nouveaux qui sont les plus proches en termes de capacités disponibles dans le pays. Ils calculent ainsi un *indice de complexité* des produits ainsi que la distance d'un pays par rapport à chaque produit en fonction des produits pour lesquels le pays considéré possède un *avantage comparatif* révélé.

Mealy et Teytelboym (2020) ont utilisé cette méthode pour identifier les possibilités des pays à promouvoir les industries vertes. Les auteurs calculent l'indice de complexité d'une liste de produits considérés comme nécessaires à la transition verte⁵, puis la proximité de tous les pays par rapport à ces produits. Les produits pour lesquels le

5. La liste des produits verts est basée sur les classifications existantes des biens environnementaux de l'OMC, de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de la Coopération économique Asie-Pacifique (APEC).

Les pays disposent déjà d'un avantage comparatif et d'une proximité élevée sont considérés comme des *atouts concurrentiels verts*, tandis que les produits pour lesquels les pays ont une proximité élevée mais un avantage comparatif faible sont considérés comme de simples *opportunités vertes*. L'idée sous-jacente à cette approche est que les pays à forte proximité ont les capacités nécessaires pour produire des biens, et donc qu'ils peuvent, par des politiques industrielles adéquates, déplacer leur structure de production vers ces industries.

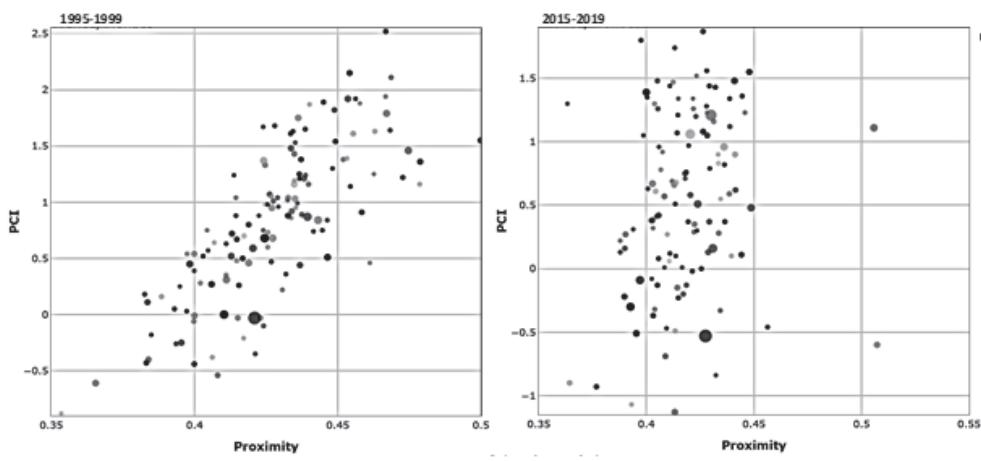
2.1. Une position industrielle dégradée pour les produits de la transition bas carbone

L'économie française peut être considérée comme une économie à fort potentiel écologique par rapport au reste du monde. La France se classe au 10^e rang mondial de l'indice de complexité verte, qui tient compte des forces concurrentielles vertes, ce qui indique que le pays possède les capacités nécessaires pour produire les produits verts les plus sophistiqués sur le plan technologique.

Cependant, l'analyse historique des capacités vertes françaises indique que la France tend à progressivement perdre ce potentiel. Le graphique 4, extrait du rapport *Green Transition Navigator* (Andres et Mealy, 2021), compare les atouts de la compétitivité verte du pays sur deux périodes : 1995-1999 et 2015-2019, et montre une nette diminution de la proximité (« proximity », axe horizontal) des produits verts les plus complexes (mesurée par l'indice de complexité, PCI ou « Product Complexity Index », en axe vertical).

La proximité des produits verts à faibles indices de complexité est restée stable autour de 0,4 indiquant que, compte tenu des exportations actuelles du pays, la France dispose de certaines des capacités nécessaires pour les produire. La proximité est une mesure de la similarité de la structure des exportations du pays par rapport aux pays les plus compétitifs pour ce produit, et donc une proximité élevée indique que le pays a les capacités technologiques et productives nécessaires pour produire le bien (Hidalgo et Hausmann, 2009). Le problème, cependant, est que la France a perdu le potentiel de produire des produits verts à haute complexité. Dans la période 1995-1999, la proximité du pays par rapport à ces produits était d'environ 0,45 mais pour la période 2015-2019, le pays présente une proximité supérieure à 0,45 dans un seul produit à PCI élevé ; ils sont maintenant autour de 0,4, comme les produits à faible complexité.

Graphique 4. Avantages compétitifs de la France en termes de production de produits «verts» dans les années 1990 et dans les années 2010



Avantages compétitifs de la France en termes de production de produits «verts» dans les années 1990, et dans les années 2010.
Les produits retenus ont un avantage comparatif révélé (RCA) supérieur à 1. La taille des points reflète le RCA.
Andres et Mealy (2021).

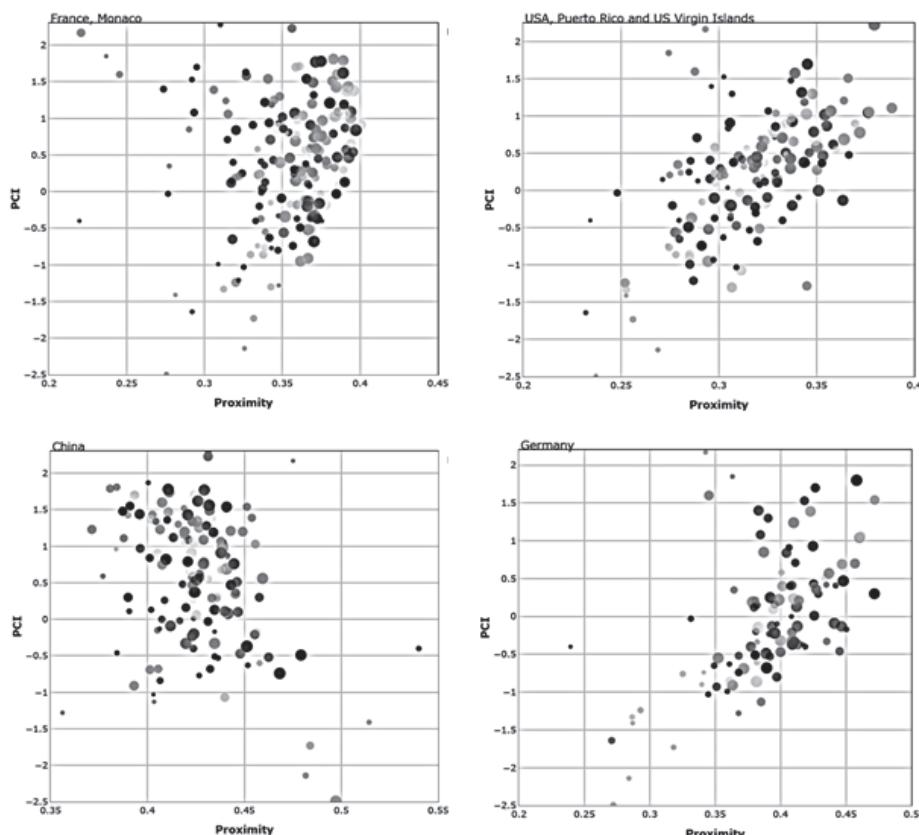
Ce fait indique que la France n'a pas utilisé ses capacités pour s'orienter vers les produits les plus sophistiqués, et il est maintenant plus difficile pour le pays de les produire. Néanmoins, la France fait toujours partie des pays les plus aptes à évoluer vers ces produits. Il existe de nombreuses raisons pour lesquelles la France a perdu certaines des capacités nécessaires à la production de ces produits verts. Jara-Figueroa *et al.* (2018) montrent que les capacités sont spécifiques à l'industrie et que les connaissances tacites comptent, et donc que les économies diversifiées sont les mieux à même de migrer d'une structure productive à l'autre. Le processus de désindustrialisation qui a eu lieu en France au cours des dernières décennies est donc un bon candidat pour l'expliquer. La structure de la production française a changé depuis la fin des années 1970, lorsque l'emploi industriel a atteint un sommet (Rodrik, 2016), depuis lors, soit en raison de changements dans la structure de la demande intérieure, soit en raison de la perte de compétitivité des secteurs industriels sur les marchés extérieurs, un processus continu de déclin du secteur industriel en tant que part de l'économie a eu lieu à la fois en termes d'emploi et de valeur ajoutée⁶.

6. Dans les années 1970, selon la Banque mondiale, l'industrie représentait près de 30 % du PIB français, et elle en représentait 16,4 % en 2020.

2.2. Une situation internationale moyenne

La comparaison entre la Chine, la France, l'Allemagne et les États-Unis corrobore cette thèse. Le graphique 5 présente les opportunités vertes pour ces quatre économies, pour la période récente 2015-2019. Il est clair que l'Allemagne et la Chine – pays où les industries manufacturières sont restées centrales – sont dans une situation bien meilleure que la France et les États-Unis. Les deux pays présentent des niveaux élevés de proximité pour les produits verts complexes (entre 0,35 et 0,50), ce qui indique qu'ils disposent des capacités technologiques et productives nécessaires pour produire ces biens. La différence entre eux est que, tandis que l'Allemagne a les capacités de produire

Graphique 5. Opportunités vertes pour la Chine, l'Allemagne, les États-Unis et la France, 2015-2019



Les produits avec un $RCA < 1$ sont considérés comme des opportunités.
Andres et Mealy (2021).

essentiellement des produits verts complexes (relation positive entre PCI et Proximité), la Chine a les capacités de produire à la fois les produits verts les moins et les plus complexes (il n'y a pas de relation claire entre PCI et Proximité).

En France, la proximité de la plupart des produits verts se situe entre 0,3 et 0,4, et il n'y a pas de différence nette entre les produits à forte et faible complexité. Aux États-Unis, la proximité des produits les plus complexes se situe entre 0,3 et 0,4, comme en France, mais les produits moins complexes présentent une proximité encore plus faible. La promotion des industries vertes devrait se concentrer sur les produits à haute complexité, dès lors que ces produits sont ceux qui peuvent garantir la convergence de la productivité, la distribution des revenus et les emplois bien rémunérés (Gala *et al.*, 2018 ; Hartman, 2017).

2.3. La proximité technologique comme pivot d'une planification écologique

Une planification écologique doit pouvoir tenir compte de la proximité technologique des industries à prioriser, afin que le pays dispose des capacités technologiques et productives nécessaires à chaque étape. En ce sens, les États-Unis et la France sont dans une situation similaire, dès lors que la proximité des biens les plus complexes est similaire, et relativement dégradée par rapport à la Chine et à l'Allemagne.

Les cas de la Chine et de l'Allemagne illustrent l'importance d'un cadre structuré de politiques pour promouvoir une transition, dans des systèmes institutionnels par ailleurs profondément différents. Les deux économies présentent une forte proximité avec les produits verts les plus complexes car elles ont un fort avantage comparatif révélé pour d'autres produits sophistiqués. La plupart des produits verts présentent une proximité comprise entre 0,4 et 0,45 en Chine, indépendamment de leur complexité. Dans le cas de l'Allemagne, les produits verts les plus complexes se situent également entre 0,4 et 0,45, mais ce n'est pas le cas des produits à faible indice de complexité. Les opportunités vertes pour ces économies sont donc plus élevées qu'en France et aux États-Unis.

Promouvoir les industries vertes à forte complexité, comme le font la Chine et l'Allemagne, est tout l'objet d'une planification écologique de type industriel. Magacho *et al.* (2021) montrent que la compétitivité des coûts n'est pas pertinente dès lors qu'il s'agit d'expliquer la position des pays pour la production de biens sophistiqués. Étant donné que la

qualité et la diversification sont beaucoup plus importantes que le prix dans la concurrence pour ce type de produits, la réduction des coûts de main-d'œuvre aura un impact limité (voire négatif) sur la capacité des pays à être compétitifs sur les marchés internationaux.

Il est donc plutôt nécessaire de promouvoir une mise à niveau technologique. Storm et Nastepaad (2015), qui ont étudié la reprise réussie de l'économie allemande lors de la crise européenne de 2010, corroborent cette idée. Ils montrent que, contrairement à la réponse française fondée sur la compétitivité coûts, la compétitivité hors prix (induite par la qualité, le contenu technologique et la fiabilité) a été le facteur clé de la reprise réussie de l'Allemagne. Dès lors, la puissance publique devient essentielle comme point de coordination des parties prenantes, aménageur sur le territoire, et financeur de ce développement. La France ne peut pas compter sur la réduction du coût de la main-d'œuvre pour concurrencer la Chine et les autres économies émergentes d'Asie de l'Est et du Sud ; le pays doit s'orienter vers les industries les plus complexes et, pour être compétitif dans ces industries, des investissements dans les infrastructures technologiques et les activités complémentaires sont nécessaires pour promouvoir une mise à niveau de l'offre. Nous nous tournons maintenant vers ces éléments plus institutionnels dans le cas particulier de la France.

3. Quelles institutions d'une planification écologique industrielle pour la France ?

Les briques éparses d'un outil de planification écologique performant sont en réalité déjà existantes dans le paysage administratif et financier public français. Ainsi les projets de contrats de plan État-régions 2021-2027 forment un outil fondamental de l'articulation d'une planification nationale avec ses déclinaisons plus locales au travers d'investissements structurants partagés. Par ailleurs, un outil de planification régionale issu de la loi NOTRe de 2015, en l'espèce des Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires, ou SRADDET⁷ donnent un rôle pivot et intégrateur à la région dans la planification stratégique sur l'aménagement du territoire. Enfin au niveau national, c'est surtout le Commissariat

7. <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sraddet-un-schema-strategique-prescriptif-et-integrateur-pour-les-regions>

général à l'investissement qui finance des investissements dits d'avenir, en même temps que les banques publiques que sont la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) comme « banque des territoires » et la Banque Publique d'Investissement (BPI) pour les investissements plus orientés vers le secteur privé. Des organismes de prospective, plus que de planification, tentent par ailleurs de répondre à la question des dynamiques macroéconomiques ou sociales à venir, comme nous l'avons mentionné en introduction (France Stratégie, le Haut Commissariat au Plan, le Haut Conseil pour le Climat, etc.).

Articuler ces différents organismes dans une planification d'ensemble avec une cohérence scientifique, prospective, financière et démocratique, devient une urgence pour viser une réelle transition d'ici à 2030 et un horizon de neutralité carbone en 2050. La mise en cohérence d'ensemble des dispositifs publics de financement de l'investissement de la transition écologique pourrait être grandement améliorée en renforçant et en intégrant ces dispositifs préexistants de planification (Plihon, 2020). Nous nous concentrerons ici sur deux axes clés pour parvenir à accroître la proximité avec les produits de la transition tout en développant la complexité des produits, à savoir le financement de l'investissement productif, et l'organisation territoriale des stratégies industrielles.

3.1. Des financeurs privés en panne d'orientation

Les flux financiers privés, malgré l'intérêt dont témoignent les acteurs de la finance verte, peinent globalement à s'aligner sur les objectifs de la transition. La réglementation financière est à ce stade trop étroitement focalisée sur l'obligation de transparence de l'information extra-financière des portefeuilles. L'article 173 de la loi de transition énergétique de 2016 oblige ainsi tout investisseur institutionnel à décrire comment il intègre les enjeux environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) dans la gestion de ses actifs, et à préciser comment il s'inscrit dans la lutte contre le risque climatique. L'article 29 de la loi climat et énergie de 2021 renforce ces exigences en ajoutant une obligation de *reporting* biodiversité à partir de 2022 (mesure de l'empreinte biodiversité et de la contribution à la réduction des impacts sur la biodiversité). Mais aucune mesure contraignante ou pénalisante n'est prévue lorsque la gestion financière n'est pas à la hauteur de ces défis.

Ces efforts de transparence sont certes utiles mais ne suffisent pas pour réorienter les flux financiers privés vers les secteurs émergents de la transition bas carbone, d'autant plus qu'ils se heurtent à de véritables difficultés pratiques liées à l'évaluation environnementale : par exemple, les cadres de *reporting* d'entreprises étant très hétérogènes, il est très difficile de comparer les engagements des différents acteurs financiers, et donc illusoire d'évaluer l'impact environnementale de la décision des investisseurs les plus sensibles à ces questions. Par ailleurs, le bilan du système financier et bancaire reste toujours très largement dépendant des secteurs fossiles, et ce particulièrement en France. Face à cette transparence pour le moins floue, la multiplication des critères Environnementaux, Sociaux et de Gouvernance (ESG) pour essayer d'attirer les investisseurs « éthiques » tourne à l'opération de *greenwashing* la plus pure, comme le soulignent les organes d'information financière eux-mêmes⁸.

3.2. L'importance industrielle des financeurs publics

La théorie économique standard réduit les investisseurs publics à un rôle subsidiaire de correction des « imperfections de marché » ; aller là où la finance privée ne se risque pas, tel serait l'horizon d'action de ces acteurs. Il a fallu attendre la crise financière des années 2007/08 pour jeter la lumière sur leur potentiel rôle en tant que financeurs contracycliques, capables de soutenir l'activité et l'emploi au moment précis où la finance privée faisait plonger l'économie dans la dépression. La décennie suivante a vu progressivement émerger le besoin de repenser notre mode de production à l'aune de la crise écologique ; or là encore, les acteurs financiers publics jouent un rôle pivot dans tout scénario ambitieux de transition écologique. C'est dans ce cadre nouveau, celui du financement de politiques publiques structurelles d'accompagnement de la transition écologique qu'un rôle moteur des acteurs financiers publics apparaît.

En Europe, des grandes banques publiques (ou les fonds souverains) comme le *Kreditanstalt für Wiederaufbau* en Allemagne, la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) en France ou la *Cassa Depositi e Prestiti* en Italie ont toujours joué le rôle d'investisseurs de long terme ; aujourd'hui, une part croissante de leur mission est dédiée aux objectifs

8. <https://influencemap.org/report/Climate-Funds-Are-They-Paris-Aligned-3eb83347267949847084306dae01c7b0> \$35 Trillion in Sustainability Funds. Does it Do Any Good? Bloomberg

de la transition énergétique et écologique. Et ce rôle est appelé à croître encore, à en croire les engagements politiques pris dans le Pacte Vert européen : la Commission européenne prévoit en effet de revoir les règles concernant les aides publiques et d'accroître le rôle de la Banque publique européenne (BEI) et des banques publiques de développement nationales. La BEI s'affiche d'ores et déjà comme « la banque européenne du climat » et projette de débloquer jusqu'à 1 000 milliards d'euros d'investissements dans l'action pour le climat et le développement durable au cours de la prochaine décennie.

En France, la CDC s'affiche comme la « banque des territoires » et propose, en partenariat avec Bpifrance, un « plan climat 2020-2024 » à hauteur de 40 milliards d'euros d'investissements nouveaux. Cet effort est concentré sur l'efficacité thermique des bâtiments, la mobilité verte (notamment recharges de batteries) et la décarbonation d'entreprises industrielles, sur le déploiement des énergies renouvelables et des technologies associées et, enfin, sur le secteur dit innovant des « *greentech* ». La CDC finance également les mesures d'adaptation, notamment celles prises dans le cadre de la loi climat et résilience de 2020 face à la hausse inévitable du niveau marin et aux dommages consécutifs à anticiper.

3.3. Un triple rôle des organismes financiers publics

La révision à la hausse des objectifs climatiques européens, couplée à la mise en place du Pacte Vert et notamment au déploiement du nouveau paquet législatif *fit for 55*, place l'ensemble des acteurs financiers face à un horizon clair de transformation radicale de nos modes de production. À cet égard, l'investissement public a un triple rôle à jouer :

- D'abord celui de créateur de biens communs écologiques, autrement dit des investissements nécessaires dans les infrastructures de mobilité, d'habitat ou encore de santé, mais aussi dans des filières industrielles nouvelles qui poussent l'ensemble du tissu industriel vers une plus grande diversité et complexité. Les montants d'investissements publics annuels additionnels nécessaires à la transition bas carbone ont été évalués récemment (Berghmans *et al.*, 2021) à 17 milliards d'euros ;
- Deuxièmement, celui de financeur systémique. Au-delà de la question des volumes d'investissements, la question climatique doit conduire à réfléchir plus globalement à la coordination des différents volets et des choix sectoriels en particulier. Les

- infrastructures de transport doivent être conjointement pensées et évaluées dans une perspective d'aménagement du territoire avec une réduction drastique des émissions de CO₂ ;
- Troisièmement, les acteurs financiers publics doivent aussi définir les nouvelles normes d'investissement considérées comme compatibles avec les objectifs climatiques et de biodiversité dans le cadre d'une transition territoriale juste. Si les institutions financières publiques françaises ont commencé de le faire, leurs efforts doivent être très fortement accrus dans la prochaine décennie. Façonnant ces nouvelles normes d'alignement, elles peuvent alors entraîner dans leur sillage une partie des acteurs financiers privés tout en bénéficiant potentiellement de nouveaux canaux de transmission des politiques monétaires aux investissements de la transition écologique.

3.4. Former des systèmes d'innovations territorialisés

Le volet industriel de la planification écologique abordé dans cet article doit par ailleurs se penser et se décliner de manière territoriale afin de construire des pôles de compétitivité territoriaux comme bases de politiques d'innovations. La complexité des produits fabriqués se déploie et s'inscrit dans un territoire, au travers d'un réseau d'entreprises qui utilise au mieux les effets d'agglomération (informations et compétences, mise en commun d'investissements de recherche et mobilisation des fonctions support dédiées).

La coopération doit s'étendre aux rapports entre industrie et système éducatif dans la formation de compétences et la participation conjointe à des programmes d'investissement mêlant acteurs financiers publics et privés. La finance doit s'adapter aux étapes de la chaîne d'innovations, de la recherche fondamentale dont les financements pérennes ne peuvent qu'être publics, aux nouvelles entreprises qui nécessitent des apports en capital-risqueurs (publics ou privés) et à la commercialisation qui peut bénéficier de financements privés ou publics plus traditionnels. Cette adaptation des formes de financement permet d'éviter la centralisation d'une planification rigide, comme l'éparpillement ou le doublonnage d'initiatives privées sans ligne directrice.

Enfin la planification territoriale doit promouvoir l'économie circulaire comme principe d'intégration de l'écologie et de l'économie, de manière à accroître la productivité de l'usage des flux de matières. La

création de chaînes de valeur, où les déchets deviennent des intrants, peu permettre en outre des économies d'importations.

4. Conclusion et perspectives

Cet article a développé une analyse en trois étapes : (1) une étude de l'exposition de l'industrie française à une transition bas carbone ; (2) un examen des opportunités que cette même structure industrielle ouvre dans la perspective d'une transition ; (3) une discussion de certaines conditions institutionnelles nécessaires pour faciliter une articulation d'ensemble que nous avons appelée « planification écologique ». Cette planification reposerait sur des formes de gouvernance financière, technologique et territoriale.

La France a en la matière une expérience ancienne qui a laissé encore quelques traces dans les institutions actuelles sans pour autant recréer un appareil d'outils de politique publique à la hauteur des enjeux. La planification française est issue du programme du Conseil National de la Résistance, adopté à l'unanimité le 15 mars 1944. Après la Libération, les réformes structurelles se sont imposées dès le début 1946 sous l'égide du gouvernement provisoire. Les nationalisations dans les secteurs clés de l'énergie, des transports publics et de la finance ont été les moyens pour éradiquer le pouvoir des lobbies sur la direction de l'économie. Le second volet a été l'ensemble des mesures sociales pour une démocratie économique : rétablissement des libertés syndicales, établissement de la sécurité sociale et des retraites selon le principe de la répartition.

Dès son origine, la planification française a recherché les modalités d'intervention de l'État pour faire face aux insuffisances du marché. C'était un projet de société orientant la politique économique sur un horizon pluriannuel. L'élaboration du Plan mobilisait une prospective macroéconomique des services de l'INSEE et du ministère des Finances. Sur cette base, l'enjeu était une large concertation des services publics et des partenaires sociaux dans les Commissions du Plan pour parvenir à une perspective d'intérêt général. La mise en œuvre elle-même était étroitement concertée dans les différents domaines où se déployaient les objectifs car elle mobilisait des ressources publiques importantes au service des priorités qui avaient été définies (Aglietta et Espagne, 2021).

Après le premier choc pétrolier de 1973, le plan s'est avéré incapable de gérer l'incertitude dans un environnement international hostile. Ce premier choc pétrolier coïncida aussi avec la création du ministère de l'Environnement en France, qui signalait une institutionalisation des préoccupations environnementales. L'inadaptation de l'industrie à la concurrence internationale est devenue un problème lancinant au moment même où les conséquences écologiques des Trente glorieuses devenaient un sujet de débat politique.

C'est aujourd'hui une nouvelle inadaptation qu'il convient d'éviter, l'inadaptation aux industries nécessaires à la construction d'un monde décarboné. La planification écologique ne peut faire abstraction de la concurrence internationale et doit ainsi avoir un fort volet industriel sur lequel nous avons voulu insister dans cet article. La COP26 qui vient de se terminer à Glasgow fournit ainsi, en creux, une forme de plaidoyer pour des coordinations bien plus renforcées et moins dépendantes des marchés financiers pour atteindre collectivement les objectifs climatiques.

Nous pouvons finalement résumer les formes de la planification écologique par des conditions politiques (refonte d'un contrat social autour de ces objectifs écologiques et décentralisation accrue de compétences pour les réaliser en commun), financières (des institutions financières qui s'organisent autour d'une stratégie de transformation du tissu productif, tout en finançant une innovation territorialisée) et technico-industrielles (par la transformation des mobilités, des modes de vie et de consommation et un positionnement stratégique sur des filières vertes compétitives).

Références

- ADEME, 2021, *Transition(s) 2050 : Choisir maintenant. Agir pour le climat. Quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone.* <https://transitions2050.ademe.fr/>
- Aglietta M. et Espagne É., 2016, « Climate and Finance Systemic Risks, More Than an Analogy? The Climate Fragility Hypothesis », *CEPII Policy brief*.
- Aglietta M. et Espagne, E., 2021, « L'ardente obligation' de l'écologie politique », *L'Economie politique*, n° 1, pp. 8-22.
- Andres P. et Mealy P., 2021, *Green Transition Navigator* : www.green-transition-navigator.org

- Berghmans N., Vallejo L., Leguet B., Kerrand E., Eisl A., Nguyen P. V. et Timbeau X., 2021, *Climat : quels investissements pour le prochain quinquennat ?* (No. hal-03483383).
- Cabernard L. et Pfister S., 2021, « A highly resolved MRIO database for analysing environmental footprints and green economy progress », *Science of The Total Environment*, vol. 755, n° 1, 142587.
- Combet E., 2020, « Planning and Sustainable Development in the Twenty first Century », *Œconomia. History, Methodology, Philosophy*, n° 10-3, pp. 473-506.
- Durand C., 2021, « Energy Dilemma », *New Left Review*, 5 novembre 2021. <https://newleftreview.org/sidecar/posts/energy-dilemma>
- Durand C. et Espagne E., 2022, *Pour le prix du carbone, la guerre en Ukraine est un enterrement qui ne dit pas son nom.* https://www.lemonde.fr/idees/article/2022/04/06/rechauffement-climatique-pour-le-prix-du-carbone-la-guerre-en-ukraine-est-un-enterrement-qui-ne-dit-pas-son-nom_6120759_3232.htm
- Espagne É., Antoine G., Magacho G., Mantes A. et Yilmaz D., 2021, « Developing countries' macroeconomic exposure to the low-carbon transition », *AFD Research Papers*, n° 220, pp. 1-42.
- Fourquet F., 1980, *Les comptes de la puissance, Histoire de la comptabilité nationale et du Plan*, Éditions Recherches.
- Gala P., Camargo J., Magacho G. et Rocha I., 2018, « Sophisticated jobs matter for economic complexity: an empirical analysis based on input-output matrices and employment data », *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 45, pp. 1-8.
- Hartmann D., Guevara M. R., Jara-Figueroa C., Aristarán M. et Hidalgo C. A., 2017, « Linking economic complexity, institutions, and income inequality », *World development*, n° 93, pp. 75-93.
- Hausmann R., Hidalgo C. A., Bustos S., Coscia M., Simoes A. et Yildirim M. A., 2014, *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*, The MIT Press, Cambridge.
- Hidalgo C. A. et Hausmann R., 2009, « The building blocks of economic complexity », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, n° 26, pp. 10570-10575.
- IDB et DDPLAC, 2019, *Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean*, Inter-American Development Bank, Washington D. C.
- IEA, 2021, *Net Zero by 2050*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- Jara-Figueroa C., Jun B., Glaeser E. et Hidalgo C., 2018, « The role of industry-specific, occupationspecific, and location-specific knowledge in the growth and survival of new firms », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 115 ; n° 50, pp. 12646-12653.

- Lenzen M., Moran D., Kanemoto K. et Geschke A., 2013, « Building EORA: A global multi-regional input- output database at high country and sector resolution », *Economic Systems Research*, vol. 25, n° 1, pp. 20-49.
- Magacho, G., Espagne, E., et Godin, A., 2022, « Impacts of CBAM on EU trade partners: consequences for developing countries », *Document de travail AFD* n° 238.
- Magacho G., Ribeiro R. et Rocha I., 2021, « Economic complexity and price competitiveness dependence: Empirical evidence using panel models », *International Journal of Development Issues*, (à paraître).
- Mealy P. et Teytelboym A., 2020, « Economic complexity and the green economy », *Research Policy*, 103948.
- Monnet J., 1976, *Mémoires*, Fayard.
- Pisani-Ferry J., 2022, *Il n'y aura de transition écologique réussie que si les citoyens se reconnaissent dans un projet collectif*. https://www.lemonde.fr/idees/article/2022/04/22/jean-pisani-ferry-il-n-y-aura-de-transition-ecologique-reussie-que-si-les-citoyens-se-reconnaissent-dans-un-projet-collectif_6123328_3232.htm
- Plihon D., 2021, « La planification écologique, un impératif », *Politis*, 2020-02-12.
- PRA, 2015, *The impact of climate change on the UK insurance sector*, Londres, Prudential Regulation Authority, Bank of England.
- Rocard M., 2012, *Programme du Conseil National de la Résistance*, collection, « Quoi de neuf ? », Elytis.
- Rodrik D., 2016, « Premature deindustrialization », *Journal of economic growth*, vol. 21, n° 1, pp. 1-33.
- Semieniuk G., Campiglio E., Mercure J.-F. et Edwards, U. V. N. R., 2021, « Low-carbon transitionrisks for finance », *WIREs Climate Change*, 12:e678.
- Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S. E., Fetzer I., Bennett E. M., et Sörlin S., 2015, « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », *Science*, n° 347(6223).
- Storm S. et Nastepaad C.W., 2015, « Crisis and recovery in the German economy: the real lessons », *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 32, pp. 11-24.
- Tooze A., 2021, « Explaining the energy dilemma of 2021- the 2014 shock and the global energy business ... an answer to Cédric Durand. #Chartbook 51 on Shutdown : <https://adamtooze.substack.com/p/chartbook-51-explaining-the-energy>
- Viennot M., 2020, « Notre modèle de protection sociale est-il soutenable ? », *Regards*, n° 2, pp. 85-94.
- Volz U., Campiglio E., Espagne E., Mercure J. F., Oman W., Pollitt H. et Svartzman R., *Transboundary Climate-related Risks: Analysing the Impacts of a Decarbonisation of the Global Economy on International Trade, Finance, and Money*, IMFStat conference 2021.

ANNEXE 1. Secteurs dans EXIObase, anglais-français

Production of electricity by coal	Production d'électricité à partir de charbon
Production of electricity by petroleum and other oil derivatives	Production d'électricité à partir du pétrole et d'autres dérivés du pétrole
Manufacture of cement, lime and plaster	Fabrication de ciment, de chaux et de plâtre
Production of electricity by gas	Production d'électricité à partir de gaz
Cattle farming	Élevage bovin
Raw milk	Lait cru
Cultivation of paddy rice	Culture de riz paddy
Processing of meat cattle	Transformation de la viande bovine
Inland water transport	Transport fluvial
Manufacture of coke oven products	Fabrication de produits de cokerie
Meat animals nec	Animaux de boucherie n.c.
Recycling of waste and scrap	Recyclage de déchets et débris
Mining of coal and lignite, extraction of peat (10)	Extraction de charbon et de lignite, extraction de tourbe (10)
Processing of dairy products	Transformation de produits laitiers
Landfill of waste: Food	Mise en décharge de déchets : Aliments
N-fertiliser	Engrais N
Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof	Fabrication de fer et d'acier de base et de ferro-alliages et de leurs premiers produits
Extraction of natural gas and services related to natural gas extraction, excluding surveying	Extraction de gaz naturel et services liés à l'extraction de gaz naturel, à l'exclusion de la prospection.
Re-processing of ash into clinker	Retraitement des cendres en clinker
Manufacture of rubber and plastic products (25)	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique (25)
Landfill of waste: Paper	Mise en décharge de déchets : papier
Composting of food waste, incl. land application	Compostage de déchets alimentaires, y compris l'épandage sur le sol
Extraction of crude petroleum and services related to crude oil extraction, excluding surveying	Extraction de pétrole brut et services liés à l'extraction de pétrole brut, à l'exclusion de l'arpentage
Waste water treatment, other	Traitements des eaux usées, autres
Manufacture of gas, distribution of gaseous fuels through mains	Fabrication de gaz, distribution de combustibles gazeux par conduites principales
Manufacture of other non-metallic mineral products n.e.c.	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques n.c.a.
P- and other fertiliser	Engrais P et autres engrais
Manufacture of furniture, manufacturing n.e.c. (36)	Fabrication de meubles, fabrication n.c.a. (36)

ANNEXE 2. Codes pays, pays de l'OCDE

Allemagne	DEU	Finlande	FIN	Norvège	NOR
Australie	AUS	France	FRA	Nouvelle-Zélande	NZL
Autriche	AUT	Grèce	GRÈ	Pays-Bas	NED
Belgique	BEL	Hongrie	HUN	Pologne	POL
Canada	CAN	Irlande	IRL	Portugal	PRT
Chili	CHI	Islande	ISL	République Tchèque	CZE
Colombie	COL	Israël	ISR	Royaume-Uni	GBR
Corée du Sud	KOR	Italie	ITA	Slovaquie	SVK
Costa Rica	CRI	Japon	JAP	Slovénie	SVN
Danemark	DNK	Lettonie	LVA	Suède	SWE
Espagne	ESP	Lituanie	LTU	Suisse	CHE
Estonie	EST	Luxembourg	LUX	Turquie	TUR
États-Unis	USA	Mexique	MEX		

OPTIMALITÉ, ÉQUITÉ ET PRIX DU CARBONE À PROPOS DE HAROLD HOTELLING ET DE SA RÈGLE EN ÉCONOMIE DU CLIMAT

Marion Gaspard

Université Lyon 2, Triangle

Antoine Missemer

CNRS, CIRED

La règle de Hotelling, décrivant la trajectoire optimale de long terme du prix d'un actif épuisable, est utilisée de longue date en économie des ressources naturelles. Elle est aujourd'hui également centrale en économie du climat pour l'estimation de ce que serait un prix optimal du carbone. Cette règle, énoncée par Harold Hotelling en 1931, est jugée utile pour dépassionner les débats et fournir une base objective aux arbitrages inter-temporels. Sur la base de matériaux d'archives, cet article propose de revenir aux sources, à savoir l'élaboration de la règle et la conception qu'en avait Hotelling afin de questionner son statut et ses usages aujourd'hui. Nous concluons en particulier que Hotelling ne considérait pas son outil comme neutre face aux enjeux de justice sociale, intra et intergénérationnelle. Délibération collective et action publique étaient au cœur de ses préoccupations, ce qui nous invite à appréhender sous un nouveau jour la fixation des prix du carbone au XXI^e siècle.

Mots clés : règle de Hotelling, prix du carbone, marchés énergétiques, ressources épuisables, histoire de la pensée économique.

Depuis les années 1990 au moins, la discipline économique a l'ambition de venir soutenir l'action publique en matière climatique. La pleine réalisation de cette ambition demeure sujette à controverses, les contributions économiques étant tantôt jugées salutaires – au moment de recevoir son prix de la Banque de Suède en mémoire d'Alfred Nobel, William D. Nordhaus a été célébré pour ses « découvertes nous permettant de mieux comprendre comment atteindre une croissance

économique soutenable » (RSAS, 2018) – tantôt délétères – la discipline économique étant parfois accusée de faire le jeu des émetteurs de gaz à effet de serre (Pottier, 2016 ; Pestre, 2020). La littérature en économie du climat ne manque pas de propositions pour accompagner la transition environnementale au XXI^e siècle : donner un prix au carbone, instaurer des ajustements aux frontières ou encore mettre aux enchères des quotas d'émissions de CO₂. Nombre de ces propositions ont été traduites en actes, de la mise en place précoce d'une taxe carbone en Suède (Baudry, 2009) aux réformes successives du marché européen de quotas d'émissions EU-ETS entré récemment dans sa quatrième phase (2021-2030). Ces mesures économiques concrètes, fruits de compromis politiques, ne répondent pas toujours à toutes les exigences théoriques conçues initialement par les économistes – en témoigne la sur-allocation de quotas sur le marché EU-ETS dans ses premières phases (Quirion, 2020) – mais elles en conservent souvent l'esprit, comme la confiance dans les instruments de marché pour résoudre la crise climatique. Ces mesures reposent sur un ensemble de résultats qui, considérés conjointement, forment si ce n'est un paradigme tout du moins une boîte à outils enseignée aux étudiants et transmise de génération en génération d'économistes. On compte parmi ces outils le théorème de Coase sur l'articulation entre coûts de transaction, droits de propriété et allocation marchande, ou encore la taxe Pigou permettant un réajustement entre coût privé et coût social d'une externalité. C'est dans cette boîte à outils que l'on trouve également la règle de Hotelling (Heal & Schlenker, 2019).

La règle de Hotelling, énoncée par l'économiste-mathématicien américain Harold Hotelling en 1931, labélisée ainsi par Robert M. Solow en 1974, porte sur l'allocation inter-temporelle optimale d'une ressource finie. Elle stipule qu'à l'équilibre, en situation de libre concurrence, il y a égalisation entre le taux de croissance du prix net p de la ressource et le taux d'intérêt de marché r : $p(t)/p(t) = r$. L'intuition derrière ce principe est simple. Le détenteur d'un stock fini de ressources a deux options devant lui : vendre son stock pour placer sur les marchés la somme reçue de la vente ou bien conserver son stock en attendant que le prix augmente en raison de la rareté accrue promise par le caractère fini de la ressource. Le point d'équilibre du producteur se situe à l'égalisation des deux rémunérations potentielles, quand l'intérêt issu du placement est identique à l'accroissement du prix de la ressource. Sous certaines hypothèses, Hotelling (1931, p. 143) ajoute que cette condition d'optimalité est aussi valable pour la maximisation

de la « valeur sociale » de la ressource, pourvu, notamment, que le monopole public prenne lui aussi comme donné le taux d'intérêt de marché. Il y aurait là, déjà chez Hotelling, une sorte de théorème du bien-être¹. La règle de Hotelling correspondrait à une allocation intertemporelle socialement optimale d'une ressource finie.

Resté relativement confidentiel des années 1930 aux années 1950, l'article de Hotelling a connu un regain d'intérêt à partir des années 1960 (Gaffney, 1967) et surtout à partir de sa popularisation par Solow dans les années 1970. L'économie des ressources naturelles épuisables s'est ensuite consolidée en faisant la part belle à la règle de Hotelling et à ses raffinements (e.g. Hartwick, 1977 ; Pindyck, 1978 ; Dasgupta & Heal, 1979 ; Farzin, 1984 ; voir Ferreira da Cunha, 2020)². Encore aujourd'hui, la règle de Hotelling est considérée comme essentielle dans l'étude des ressources épuisables, donnant lieu à discussion dans des revues de premier plan (e.g. Okullo *et al.*, 2015; Anderson *et al.*, 2018). Dans le domaine climatique, l'application de la règle de Hotelling a suivi l'essor de la notion de budget carbone au tournant des années 1990 (Lahn, 2020). L'hypothèse d'un plafond d'émissions de CO₂ cumulées à ne pas dépasser a conduit à considérer le carbone comme une ressource finie, épuisable, et à lui appliquer un raisonnement à la Hotelling. Aujourd'hui, la règle de Hotelling occupe une place décisive dans la détermination des trajectoires de prix du carbone à long terme (e.g. Strefler *et al.*, 2021). Elle représente un outil standard, loué pour sa capacité à éclairer de façon objective et dépassionnée les arbitrages inter-temporels, loin des considérations politiques venant possiblement perturber l'optimisation économique.

Après avoir traversé ainsi la microéconomie puis la macroéconomie, l'économie théorique et l'économie appliquée, l'économie des ressources puis l'économie du climat, la règle de Hotelling semble si familière qu'on ne questionne plus vraiment ses tenants et aboutis-

1. Au sens où une allocation optimale décentralisée définirait une trajectoire de prix et de quantités identique à celle d'une allocation optimale centralisée. L'analyse initiale de Hotelling (1931, p. 144), comme nous le verrons plus loin, reste cependant menée en équilibre partiel.

2. Les modèles utilisés s'expriment parfois sous la forme de problèmes de maximisation intertemporelle du profit tiré de la ressource par un producteur, en équilibre partiel, dans la droite ligne des premiers résultats de Hotelling. Ils s'expriment, également, à partir du milieu des années 1970, comme des modèles macroéconomiques de croissance optimale sous contrainte d'épuisement d'une ressource productive (Dasgupta & Heal, 1979). Dans ce cas, la règle de Hotelling fait intervenir un paramètre d'actualisation (une préférence subjective et/ou sociale pour le présent) qui peut, ou non, être égalisée au taux d'intérêt en vigueur.

sants, ses fondements heuristiques ou ses conséquences éthiques, ni le caractère approprié de son usage à la tarification du carbone.

Quel statut et quel rôle Hotelling accordait-il à sa règle ? Dans quel but l'outil a-t-il été formulé ? A-t-il été conçu comme neutre politiquement ? Comment Hotelling concevait-il les enjeux de justice intergénérationnelle lorsqu'il étudiait l'utilisation des ressources épuisables à long terme ? Bien entendu, Hotelling ne pouvait anticiper en son temps les applications de sa règle aux enjeux climatiques. Nous pensons toutefois que ces questions sont susceptibles de fournir des éclairages précieux sur le statut et le périmètre de validité de la règle, ainsi que sur sa capacité à informer l'action publique, aussi en économie du climat.

Cet article livre les résultats d'une enquête historique appuyée par des matériaux d'archives issus des documents personnels (brouillons, correspondance) de Harold Hotelling, entreposés à l'Université de Columbia (New York). Parmi les quelques 3 000 documents consultés, quelques dizaines – une trentaine de brouillons manuscrits, une douzaine d'extraits de correspondance, une demi-douzaine de rapports d'activités³ – permettent d'éclairer significativement la trajectoire de Hotelling dans les années 1920-1930 sur la question des ressources épuisables et les développements qu'il avait en tête de son modèle des années 1930 aux années 1950. La consultation de ces documents met en évidence le regard circonstancié de Hotelling sur sa condition d'optimalité, loin de l'interprétation trop hâtivement descriptive qui en a parfois été faite en économie des ressources, loin aussi de l'interprétation prescriptive clé-en-main qui semble parfois poindre en économie du climat.

L'enjeu n'est pas ici de passer au crible toute la littérature inspirée par le travail de Hotelling ni de retracer la longue histoire de la règle de Hotelling, des années 1930 aux années 1960 et 1970, puis des années 1970 à aujourd'hui – ce serait là un projet de recherche en soi. Il s'agit d'une part de retracer les usages qui sont faits aujourd'hui de la règle de Hotelling en économie du climat et d'examiner d'autre part le cheminement originel de Hotelling, susceptible d'interroger ces mêmes usages. La section qui suit retrace donc la façon dont la littéra-

3. Le catalogue complet des archives Hotelling est disponible à : https://findingaids.library.columbia.edu/ead/nnc-rb/ldpd_4078401. Il nous est possible de communiquer, sur demande par email, les documents que nous avons pu numériser.

ture en économie du climat a progressivement mobilisé la règle de Hotelling dans l’appréhension des trajectoires optimales de prix du carbone. La section 2 revient sur le parcours de Hotelling, des années 1910 aux années 1960, pour situer son travail sur les ressources épuisables dans le cadre plus général de ses contributions à la science économique – une mise en contexte essentielle pour mieux comprendre le statut heuristique de son modèle. La section 3 explore plus précisément les considérations éthiques et politiques que Hotelling associait à sa règle, pour en tirer quelques leçons de prudence pour nos usages contemporains.

1. Prix du carbone et règle de Hotelling

La notion de budget carbone, désignant aujourd’hui la quantité de CO₂ (ou de gaz à effet de serre convertie en équivalents CO₂) pouvant encore être émise dans l’atmosphère tout en respectant certains objectifs climatiques (e.g. contenir le réchauffement à +1,5°C, voire +2°C, par rapport à l’ère préindustrielle), est apparue au tournant des années 1980 dans des travaux sur les cycles biochimiques à l’échelle d’un milieu particulier (océan, forêt tropicale, etc.) ou à l’échelle globale. Elle renvoyait alors à un équilibre comptable entre des flux entrants et sortants de carbone (e.g. Broecker *et al.*, 1979). Il n’était pas véritablement question, à l’époque, de stock d’émissions pouvant encore être émis pour atteindre un objectif climatique donné. C’est au tournant des années 1990 que l’idée de plafond d’émissions a émergé, le budget carbone apparaissant comme une métaphore efficace pour opérer un lien entre sciences climatiques et action publique (Krause *et al.*, 1989; Wigley *et al.*, 1996 ; voir Lahn, 2020). Avec la consolidation, dans les années 2000, de l’objectif de +2°C de réchauffement, la notion de budget carbone a connu un succès sans précédent (Aykut & Dahan, 2011). En consacrant un objectif encore plus ambitieux (+1,5°C), l’Accord de Paris de 2015 a donné lieu à de nouvelles estimations du budget encore disponible, inévitablement revues à la baisse – les estimations les plus récentes oscillent fortement, avec une valeur médiane autour de 400-500 GteCO₂.

Nonobstant les difficultés de calcul, une fois le budget carbone connu, il semble raisonnable de le considérer comme un stock fini à allouer dans le temps, jusqu’à épuisement. À travers sa métaphore budgétaire, le carbone prend les traits d’une ressource épuisable et il

n'est donc pas surprenant que l'on soit tenté de lui appliquer une règle de Hotelling, comme clé de répartition inter-temporelle permettant la maximisation d'une fonction de bien-être collectif ou la minimisation d'un coût social.

Une première série de travaux, dans le prolongement des débats des années 1970 et 1980, a rapidement fait usage du modèle de Hotelling pour étudier la taxation optimale des hydrocarbures afin d'en limiter l'usage et les émissions de gaz à effet de serre associées (e.g. Sinclair, 1994). Dans ces travaux, le carbone n'apparaissait toutefois qu'indirectement. Une seconde série de travaux, plus inédits, a cherché à forger au même moment une expertise spécifiquement dédiée au carbone, à la suite des alertes et initiatives des années 1980 sur le changement climatique (National Research Council, 1983), et dans le contexte des réponses à apporter au volontarisme politique exprimé lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992. Presque concomitamment à l'apparition de la notion de budget carbone, on voit poindre dans la littérature une association forte entre émissions de CO₂, ressources épuisables et modèles à la Hotelling. En 1992, dans l'un des premiers ouvrages consacrés à la question du plafond d'émissions, Alan S. Manne et Richard G. Richels l'expriment clairement, en précisant que la catégorie des ressources épuisables inclut les émissions de CO₂ :

Much as in the Hotelling literature, there are expectations that influence the time path and the extraction profile of exhaustible resources. (Exhaustible resources are defined here to include not only conventional hydrocarbons but also the rights to emit CO₂.) (Manne & Richels, 1992, p. 120)

La règle de Hotelling définit avant tout des trajectoires de prix à long terme pour les actifs épuisables. Ce qui importe le plus dans l'application de la règle à la question du carbone, c'est donc la détermination du prix du carbone, en miroir de l'allocation inter-temporelle optimale du budget encore disponible. C'est bien dans cette direction que la référence à Hotelling a été la plus utilisée en économie du climat. Au milieu des années 1990, en écho aux débats européens et américains sur l'opportunité de mettre en place une fiscalité spécifique sur le carbone, la littérature économique a embrassé la question de la taxation optimale des émissions de CO₂, ne manquant alors pas d'appliquer la règle de Hotelling (e.g. Farzin & Tahvonen, 1996). Depuis, ces développements et applications se sont poursuivis, multipliés et diversifiés, confiant à la règle de Hotelling un rôle toujours plus structurant dans l'étude des enjeux climatiques (e.g. Strefler *et al.*, 2021).

Arrêtons-nous un instant sur les modalités de justification de l'usage de cette règle comme solution simple à la question de l'allocation d'un budget carbone.

La règle de Hotelling est couramment présentée comme la garantie d'une certaine objectivation de l'orientation de la politique climatique en matière de fixation d'un prix du carbone : décrivant clairement une trajectoire de prix à taux constant, elle permettrait d'ancrer les anticipations, d'éviter toute incohérence temporelle et serait, pour les autorités, aisée à implémenter (Nordhaus, 2010 ; Strefler *et al.*, 2021). Sa légitimité repose également sur le fait que la règle décrirait, depuis Hotelling (1931), des trajectoires optimales d'épuisement d'une ressource finie (ici, un budget carbone). Dans sa défense de la taxation du carbone, Christian Gollier (2019) ne manque pas, par exemple, d'en appeler à Hotelling pour décrire sa trajectoire de prix :

Comment la France devrait-elle allouer son budget carbone sur les trente prochaines années ? Il s'agit de répartir l'effort entre aujourd'hui et 2050 pour minimiser la valeur actuelle du coût financier de ces efforts. La meilleure manière d'y arriver est de faire croître le prix du carbone au taux d'actualisation, de manière qu'à la marge, une réallocation de ces efforts dans le temps n'ait pas d'effet sur la valeur actuelle de leur coût. On doit cet argument à l'économiste et statisticien américain Harold Hotelling, mort en 1973, qui l'a appliqué aux ressources naturelles non renouvelables. Donc, un taux de croissance du prix du carbone de 4 % paraît justifié. (Gollier, 2019, p. 321-322)

De même, dans le récent rapport de la Commission Quinet sur la valeur tutélaire du carbone, l'intérêt de recourir à une règle de Hotelling est clairement énoncé. Ce serait là une « règle de bonne gestion d'une ressource épuisable » pour le long terme (France Stratégie, 2019, p. 13) : toute autre trajectoire serait irrationnelle ou inefficiente, puisque par définition, un producteur aurait intérêt à extraire plus vite une ressource (ou ici, à reporter ses coûts d'atténuation) et à placer la somme récoltée sur les marchés financiers (p. 55).

La question de la tarification du carbone impose cependant que l'on s'éloigne, au moins un temps, du cadre microéconomique à taux d'intérêt donné dans lequel s'est établie initialement la règle de Hotelling. Il s'agit bien ici de corriger, ou tuteurer ce que serait le prix du carbone dans une économie décentralisée qui, laissée à elle-même, ne permettrait pas de limiter suffisamment les émissions. La détermination d'une trajectoire de prix cible, à même de définir les niveaux d'imposition des émissions de CO₂ permettant de répartir équitablement le budget carbone entre les générations impose le choix d'un

paramètre d'actualisation qui n'est plus nécessairement le taux d'intérêt ou la productivité marginale du capital, mais une valorisation subjective ou sociale des générations présentes par rapport aux générations futures. Un paramètre *a priori* normatif auquel le succès environnemental et l'acceptabilité politique de la taxation du carbone sont particulièrement sensibles⁴. L'enjeu est alors d'objectiver ce taux⁵.

Les auteurs du rapport de la commission Quinet ont opté pour un taux d'actualisation « socio-économique » relativement élevé, estimé à 4,5 % (France Stratégie, 2019, p. 55). Gollier (2019) a lui retenu un taux d'actualisation de 4 %. Ces valeurs sont fondées (parfois implicitement) sur le recours à une règle de Ramsey. De l'équation d'Euler d'un modèle de croissance optimale à la Ramsey – dans sa version utilitariste escomptée – définissant initialement le rythme de croissance optimal de la consommation dans le temps à préférences et taux d'intérêt (productivité marginale du capital) donnés, la littérature extrait un taux d'actualisation qui respecterait cette condition d'Euler, cette fois à rythme de croissance exogène de la consommation (Arrow *et al.*, 1996, 2014 ; Gollier, 2012). Le taux d'actualisation (devenu taux de rendement social de la substitution inter-temporelle de la consommation) est ainsi défini par la combinaison de sous-paramètres représentant les caractéristiques de la fonction de bien-être social (préférence pure pour le présent, aversion aux inégalités de revenus entre générations, aversion au risque) avec le rythme, supposé exogène, de croissance de la consommation, approximé par la croissance du PIB (ou du PIB potentiel). Bien qu'il existe un débat sur le choix de la valeur de ces sous-paramètres, et que de grandes d'incertitudes prévalent dans l'exercice d'estimation, une contrainte semble s'imposer : choisir, dans des four-

4. Choisir un taux d'actualisation élevé tend à différer les efforts d'atténuation, non seulement parce que cela témoigne d'une valorisation intrinsèque des générations présentes en début de trajectoire mais également parce que cela autorise la fixation d'un prix initial relativement faible. L'argument principal est que les générations futures profiteront de l'effet richesse apporté par la croissance. Le risque est cependant de s'engager dans une trajectoire de prix fortement croissante et à terme insoutenable conduisant au dépassement du budget carbone (Heal & Schlenker, 2019). À l'inverse, avec un taux d'actualisation faible, les générations présentes sont appelées à faire des efforts importants pour lutter contre le changement climatique et sont soumises, dès la mise en place d'une taxation des émissions, à des taux élevés, portant un risque politique et social à court terme.

5. Dans l'histoire de la pensée économique, la question de l'actualisation a fait l'objet d'innombrables débats, notamment sur son caractère éthique ou non, sur ses justifications, et sur ses implications théoriques et pratiques (Frederick *et al.*, 2002). En économie du climat, les controverses se sont accentuées dans les années 2000, autour de la publication du rapport de Nicholas Stern (2006) sur le changement climatique, où le taux choisi (en-dessous de 2 % par an) a paru à certains particulièrement faible, ouvrant de nombreux débats sur les questions de justice climatique intergénérationnelle (voir plus récemment Heal, 2017 ; Chichilnisky *et al.*, 2020 ; Hartwick & Mira, 2020).

chettes crédibles, les valeurs numériques de ces sous-paramètres qui paraissent objectives, donnant un fondement réaliste, pour ainsi dire, à la valeur retenue pour le taux d'actualisation⁶.

L'usage de la règle de Hotelling dans la littérature sur la tarification du carbone repose ainsi sur une double condition d'optimalité : une règle de Ramsey paramétrant une règle de Hotelling. Une double condition qui introduit, dans la règle de Hotelling, une représentation utilitariste et agrégée de la valorisation de la ressource (une fonction de bien-être social) et ne se contente pas, donc, d'utiliser un simple principe d'arbitrage financier. Ce serait dans ce cas l'objectivation du taux retenu, assortie à l'objectivité de la règle, qui permettrait de décrire convenablement, en toute neutralité éthique et politique, les trajectoires du prix du carbone servant à guider, ensuite, des décisions décentralisées⁷.

L'attachement de la Commission Quinet à la neutralité supposée de la règle de Hotelling peut surprendre : l'exercice de construction d'une valeur tutélaire consiste précisément à intégrer des considérations éthiques, ou de délibération politique, dans le calcul du prix du carbone (Gadrey & Lalucq, 2015) – la valeur tutélaire du carbone désigne d'ailleurs davantage la « valeur de l'action pour le climat » (France Stratégie, 2019, p. 10) que le prix du carbone *stricto sensu*. Pourquoi intégrer une règle de Hotelling, prétendument objective et neutre, dans un tel exercice ?⁸ Plus globalement, face aux enjeux de justice intergénérationnelle, face à l'ampleur des effets du changement climatique à long terme en termes d'inégalités, de distribution des efforts d'atténuation ou encore de dommages subis (Pottier *et al.*, 2017 ; Guivarch & Taconet, 2020 ; Méjean *et al.*, 2020), et face aux probables transformations du contrat social (en particulier le consentement à l'impôt) qu'impliquent les impératifs de transition

6. Des prévisions de croissance du PIB potentiel sont alors nécessaires pour estimer l'impact de l'effet richesse, tandis que des enquêtes empiriques ou des expériences de pensée visent à estimer la valeur de l'aversion au risque ou de l'aversion aux inégalités inter-temporelles (voir par exemple Gollier, 2012 ; Arrow *et al.*, 2014).

7. Il est toujours possible d'opter pour un taux différent, mais il est courant de lire que tout taux alternatif doit nécessairement trouver une justification tout aussi objective, ou des raisons de déroger à la règle par des règles de Hotelling modifiées (Strefler *et al.*, 2021).

8. Les participants à la Commission Quinet ont considéré qu'il fallait faire la distinction entre deux horizons temporels : l'horizon de court terme, avec 2030 comme cible, et l'horizon de long terme, vers 2050. Dans le premier cas, des choix, notamment politiques, peuvent conduire à fixer une trajectoire de valeur tutélaire du carbone différente de celle suggérée par la règle de Hotelling. Dans le second cas, à plus long terme donc, cette trajectoire est appelée à « s'aligne[r] progressivement sur une règle de Hotelling » (France Stratégie, 2019, p. 11).

environnementale (Hourcade & Combet, 2017), cet emploi de la seule règle de Hotelling comme arbitre de toute considération politique et éthique peut interroger. Comme si le long compagnonnage de l'économie des ressources naturelles et de l'environnement avec la règle de Hotelling était la garantie d'avoir défini l'outil adéquat pour traiter de la répartition d'un budget carbone et suffisait à dépassionner les débats et dépasser les questions éthiques et politiques. Comme si l'outil était le gage d'une objectivité établie de longue date, depuis 1931. À la lumière des archives et de la conception qu'avait Hotelling de son propre travail, on peut douter cependant qu'il eut lui-même défendu l'usage de son résultat mathématique comme la solution idoine pour trancher de telles questions.

2. Retour sur Hotelling (1931)

Harold Hotelling (1895-1973) est habituellement présenté comme un mathématicien venu à l'économie (Samuelson, 1960 ; Darnell, 1990). Ses aptitudes avancées en analyse, algèbre et topologie, acquises à l'Université de Washington (Seattle), puis à Princeton, au début des années 1920, semblent indiquer un tel pedigree. À y regarder de plus près, toutefois, il semble que ce soit son intérêt pour l'économie qui l'ait conduit à faire un détour par l'étude des mathématiques. Dans ses écrits autobiographiques, il souligne son attrait précoce, dès les années 1910, pour certains sujets économiques et sociaux, notamment l'organisation et la tarification des services publics dans les métropoles (Hotelling, 1948). En 1924, Hotelling rejoint le *Food Research Institute* de Stanford pour y mener des travaux quantitatifs sur les dynamiques agricoles. C'est à ce moment-là qu'il lance son propre programme de recherche, à cheval entre la statistique théorique, en collaboration avec Ronald A. Fisher, et l'économie mathématique, en écho aux travaux émergents de Griffith C. Evans ou encore Charles F. Roos. En 1931, Hotelling saisit l'opportunité offerte par Wesley Mitchell de rejoindre l'Université de Columbia pour occuper un poste de professeur d'économie⁹.

Les contributions de Hotelling à l'économie mathématique apparaissent, rétrospectivement, particulièrement significatives. Ses

9. Il y enseignera l'économie mathématique pendant près de quinze ans avant de rejoindre l'Université de North Carolina en 1946 pour la mise sur pied d'un important département de statistiques.

quelques articles ont été fondateurs dans plusieurs sous-champs de l'analyse économique, de la théorie de la dépréciation (1925) à la théorie du bien-être (1938), en passant par la concurrence spatiale et l'analyse de la concurrence monopolistique (1929), les fonctions de demande (1932), et donc l'économie des ressources épuisables (1931)¹⁰. L'exploration des documents personnels de Hotelling, en particulier de ses brouillons, suggère que ces différents chantiers de recherche ont été explorés simultanément. Rétrospectivement, deux thématiques semblent avoir transcendé ses objets de recherche : l'étude des conséquences de la structuration institutionnelle de certaines industries spécifiques (les formes possibles de la concurrence) sur le bien-être social d'une part, l'évaluation des politiques fiscales d'autre part. La cohérence d'ensemble du projet de Hotelling peut être définie ainsi : mettre les mathématiques au service d'une clarification des hypothèses et des raisonnements des économistes, pour comparer différents régimes de propriété et scénarios alternatifs de politiques publiques (Gaspard & Missemér, 2019 ; Gaspard & Mueller, 2021).

Le sujet des ressources épuisables apparaît pour la première fois dans les archives de Hotelling à l'automne 1924, sept ans donc avant la publication de « *The Economics of Exhaustible Resources* »¹¹, comme prolongement de son travail sur la dépréciation du capital productif publié quelques mois plus tard (Hotelling, 1925). Après quelques développements succincts à l'hiver 1925 dans lesquels il formalise le problème de la valorisation inter-temporelle d'une mine selon qu'elle se situe en monopole ou en libre concurrence (et dans lesquels on trouve déjà une énonciation de la règle), Hotelling semble laisser de côté son projet pour plusieurs années pour y revenir ensuite en 1928-1929. Disposant alors d'une théorie des formes de la concurrence et de la concurrence monopolistique (Hotelling, 1929), il explore plus avant les implications en termes d'utilité sociale de la structuration des industries extractives. Il faut attendre l'été 1930 pour voir Hotelling terminer son article¹².

10. Ce sont ces articles, complétés de classiques de l'économie mathématique, que Hotelling enseignait à Columbia dans les années 1930, formant toute une génération d'économistes-mathématiciens : Kenneth Arrow, Robert Dorfman, Milton Friedman, Gabriel Preinreich ou William Vickrey, pour n'en citer que quelques uns.

11. « *Exhaustible Assets under Competition* », HHP, Box 10, AMS Reports and Correspondence (3).

12. Lettre de Hotelling à Ronald A. Fisher, 23 juillet 1930 (RAFP, version disponible en ligne) et lettre de Hotelling à Edward Chamberlin, 8 août 1930 (Guicherd, 2017, p. 179).

Si « The Economics of Exhaustible Resources » constitue la seule publication de Hotelling sur le sujet des ressources épuisables, on trouve trace dans ses documents personnels d'un intérêt prolongé pour cette question. Plusieurs brouillons postérieurs à 1931 explorent de nouvelles extensions de son modèle, y compris une application aux ressources biologiques¹³. Les dernières pages consacrées par Hotelling aux ressources épuisables datent de juin 1959. Est alors laconiquement rappelé que le prix net p de la ressource doit s'entendre coûts d'exploitation, de transport et de marketing déduits¹⁴.

La reconstitution de l'itinéraire de travail de Hotelling sur la question des ressources épuisables conduit à déplacer le regard que l'on a habituellement sur son article fondateur. Tout d'abord, il apparaît que la réflexion de Hotelling n'a pas été conçue initialement comme une réponse au mouvement conservationniste américain, contrairement à ce que peuvent laisser penser l'introduction de l'article publié (Hotelling, 1931, p. 137) ou plusieurs interprétations tardives (Solow, 1974 ; Gaudet, 2007 ; Livernois, 2009). On ne trouve trace de la question du conservationnisme sur aucun des brouillons ou fragments disponibles avant la version finale. Plus significativement, l'introduction de l'article semble avoir été modifiée dans les dernières semaines de rédaction, peut-être même à la demande de l'éditeur ou des rapporteurs de la revue. Les archives contiennent en effet une version préliminaire de l'introduction datant de décembre 1929. Dans cette version, l'enjeu mis en avant dans les premières lignes est celui des structures de concurrence, leur impact sur le rythme d'exploitation des ressources et leurs implications du point de vue de l'intérêt collectif – contrairement à la version de 1931, nulle trace du conservationnisme dans ce premier paragraphe¹⁵ :

Contemplation of the world's disappearing supplies of minerals, forests, and other exhaustible assets has led to demands for regulation of their exploitation, by taxation or otherwise. On the other hand the existence of monopolies and quasi-monopolies has raised the same problems of excessively curtailed production here as in other industries, but in a more complex form. The economics of the exploitation, that is, the study of the rates of exploitation which on the one hand tend to take

13. « The Dynamics of Exhaustible Biological Resources », HHP, Box 45, Misc. Problems, Dated 1931-1933. Voir aussi Crabbé, 1986.

14. « Exhaustible Resources Example », HHP, Box 45, Misc. Problems, Dated 1957-1959.

15. « The Economics of Exhaustible Assets by Harold Hotelling (abstract) », HHP, Box 42, Exploitation of Irreplaceable Assets. Pour une discussion détaillée de ce brouillon, voir Ferreira da Cunha et Missemer (2020).

place under commercial conditions, and of those which on the other hand ought in the public interest to take place, has however received no serious attention.

En réalité, ce sont davantage les enjeux de répartition du revenu plutôt que les enjeux de conservation qui sont à l'origine de l'attention portée par Hotelling aux ressources épuisables. En témoignent les sources ultimes de son intérêt pour le sujet. Il ne fait en effet pas de doute que ce sont des lectures préparatoires sur les questions de dépréciation qui l'ont mis sur le chemin des ressources épuisables. Parmi ces lectures, l'ouvrage d'Earl A. Saliers (1922) a joué un rôle décisif en donnant à voir à Hotelling les implications politiques, voire morales, associées à la dépréciation des actifs en général et à la taxation des activités minières en particulier (Missemer *et al.*, 2022).

Autre enseignement issu des matériaux d'archives, le suivi pas à pas de la rédaction de l'article de 1931 révèle que Hotelling a suivi de front deux pistes de recherche avant d'en arriver à « *The Economics of Exhaustible Resources* » : d'une part un travail théorique, et plutôt normatif, sur l'exploitation optimale des « *actifs épuisables* » (*exhaustible assets*) ; d'autre part un travail plus empirique, plus descriptif aussi, sur les trajectoires de production et de coûts des « *ressources irremplaçables* » (*irreplaceable resources*). Alors que la condition d'optimalité connue sous le nom de règle de Hotelling avait vocation à s'appliquer à une catégorie d'actifs caractérisés par leur seule finitude – on pourrait parler d'actifs épuisables *purs* comme il est coutume de parler, dans un tout autre domaine, de biens publics purs –, les ressources naturelles concrètes (pétrole, gaz, charbon, etc.), soumises à d'innombrables frictions (contraintes géologiques, dispersion spatiale, etc.), n'étaient pas supposées tomber dans le champ d'application de la règle, selon Hotelling lui-même (Ferreira da Cunha & Missemer, 2020 ; Missemer, 2022). Quelques documents d'archives en témoignent¹⁶. Surtout, la partie finale de l'article de 1931 s'en fait l'écho, à partir de la section 8, quand Hotelling (1931, p. 152, 164, 174) mentionne explicitement des contraintes géologiques – les coûts croissants au fur et à mesure que la mine gagne en profondeur (« *the cost of extraction increases as*

16. Certains documents, comme les brouillons intitulés « *Monopoly of an Exhaustible Asset* » et « *Integrals and Characteristic Curve* », renvoient au travail d'abstraction des actifs épuisables mené par Hotelling pour en tirer des raffinements de son modèle élémentaire, tandis que d'autres, comme le courrier échangé avec Stanley C. Herold le 7 juillet 1930, témoignent de son intérêt parallèle pour les coûts concrets dans l'industrie pétrolière. HHP, Box 10, AMS Reports and Correspondence (3) & HHP, Box 42, Exploitation of Irreplaceable Assets.

the mine goes deeper »), certains coûts non linéaires (« *the cost of accelerating production at the beginning* »), et les incertitudes sur la taille véritable des gisements (« *the problems of exhaustible resources involve the time [...] as bringing increased information [...] as to the physical extent and condition of the resource* ») – faisant diverger la réalité des marchés énergétiques de son modèle générique. Il n'est donc pas surprenant que la règle de Hotelling, même amendée, ait souvent échoué aux tests empiriques en économie des ressources naturelles (e.g. Halvorsen & Smith, 1991 ; Livernois, 2009 ; Slade & Thille, 2009 ; Hart & Spiro, 2011 ; Gaugler, 2015 ; Karp, 2017) : elle n'était pas faite pour prédire les trajectoires de prix de ces ressources, seulement pour définir quelles seraient les trajectoires optimales de prix d'actifs purs et la nature des rentes associées dans différentes configurations institutionnelles ou fiscales.

À la lumière de ces observations, comment appréhender les applications de la règle de Hotelling en économie du climat ? Le carbone constitue un actif environnemental qui ne souffre a priori d'aucune friction – il est homogène et non soumis aux contraintes géologiques des ressources énergétiques. Ainsi, il semble un parfait candidat au titre d'actif épisable pur tel qu'envisagé, selon notre reconstruction, par Hotelling pour l'application de son modèle élémentaire. Les trajectoires de prix du carbone à long terme constituerait donc, de prime abord, un cas d'école pour une application de la règle de Hotelling. On ne peut cependant pas en rester là. Comme le suggère la primauté des enjeux de répartition dans les motivations de Hotelling, il n'est pas certain que les applications courantes de la règle en économie du climat rendent pleinement justice aux questionnements éthiques et politiques que Hotelling avait en tête au moment de bâtir son modèle.

3. Actualisation, éthique et politique chez Harold Hotelling

Au début du XX^e siècle, la littérature conservationniste considérait avec attention la problématique de l'actualisation face à des stocks de ressources naturelles, voire d'aménités environnementales, finis (Smith, 1982 ; Ramos Gorostiza, 2003 ; Missemmer, 2017 ; Franco *et al.*, 2019). Lewis C. Gray (1913, 1914) estimait que le taux d'intérêt, servant de taux d'actualisation, devait être piloté par les autorités publiques pour qu'il soit moins élevé dans les secteurs mobilisant beaucoup d'intrants naturels. Richard T. Ely (1918) et John Ise (1925), tout en soulignant le

caractère impératif d'une gestion plus rationnelle des ressources naturelles, considéraient que la question du taux d'escompte devait être subordonnée à une réflexion philosophique, individuelle et collective, analysant clairement la nature de nos devoirs vis-à-vis de l'avenir de l'humanité¹⁷.

En développant son analyse en marge de ces débats conservationnistes, Hotelling semble avoir été le premier à accepter sans état d'âme un taux d'actualisation fondé sur une analyse exclusivement économique et financière. C'est peut-être la simplicité de ce choix, et l'énonciation claire et mathématique d'une règle d'optimisation qui a fait de lui, ultérieurement, le fondateur de l'analyse économique des ressources (Solow, 1974). Le taux choisi, à savoir le taux d'intérêt de marché, constitue a priori un taux objectif, observable, qui plus est valable aussi bien pour la maximisation du profit tiré de la ressource par un producteur (en libre concurrence ou en monopole) que pour la maximisation de la « valeur sociale » de la mine (Hotelling, 1931, p. 138-139, 144, 158). Face aux arguments éthiques également mis en avant à l'époque par Frank P. Ramsey (1928) pour renoncer à un taux d'escompte positif, Hotelling (1931, p. 145) ne paraît viser que l'optimum économique.

À la lecture des raisons pour lesquelles Hotelling choisit d'escompter les valeurs futures de l'utilité sociale au taux d'intérêt, on découvre toutefois une position assez nuancée :

The discounting of future values of u may be challenged on the ground that future pleasures are ethically equivalent to present pleasure of the same intensity. The reply to this is that capital is productive, that future pleasures are uncertain in a degree increasing with their remoteness in time, and that V and u are concrete quantities, not symbols for pleasure. They measure the social value of the mine in the sense concerned with the total production of goods, but not properly its utility or the happiness to which it leads, since this depends upon the distribution of wealth, and is greater if the products of the mine benefit chiefly the poor than if they become articles of luxury. A platinum mine is of greater general utility when platinum is used for electrical and chemical purposes than when it is pre-empted by the jewelry trade. (Hotelling, 1931, p. 145)

17. Pour Ely (1918, p. 36), il était cependant possible de prendre provisoirement et arbitrairement pour référence « le taux d'intérêt le plus bas possible payé par un État prospère et bien géré, disons 2% » (« *the lowest possible rate of interest paid by a prosperous state with well-managed finances, say two per cent* »). Ise (1925) estimait lui que l'incertitude imposait un taux d'escompte positif, mais que les économistes ne pouvaient le choisir seul.

Hotelling, ici en 1931 mais comme dans ses autres articles, utilise comme indicateur d'utilité agrégée le surplus des consommateurs, tel qu'extrait de la fonction de demande. Son indicateur d'utilité est un surplus monétaire, conceptualisé littéralement comme un « profit net », individuel ou collectif (Hotelling, 1932, p. 590-591), dont on suppose qu'il pourrait éventuellement être placé ailleurs que dans la consommation de la ressource épuisable. Il ne s'agit en aucun cas d'une fonction d'utilité subjective ou d'une fonction de bien-être social telle que la pensait Ramsey ou telle qu'on peut la conceptualiser en économie de la croissance optimale et, par extension, dans la littérature macroéconomique sur la soutenabilité ainsi que dans les travaux à la recherche d'une « règle d'or verte » (*green golden rule*) (Chichilnisky *et al.*, 1995). Dans la représentation de Hotelling, le taux d'intérêt qui paramètre la règle rémunère autant le temps que l'incertitude et s'applique à toute forme de montant *monétaire*, y compris, donc, à cette utilité-profit au sens de Hotelling.

Hotelling (1932, 1938) n'a jamais considéré comme sérieuses les fonctions utilitaristes d'utilité ou de bien-être social. Au sujet des ressources épuisables, dans le passage précité, il estime ne pas être en mesure de juger de ce que serait un indice de bien-être social tiré de la ressource dès lors qu'il ne dispose pas d'une représentation claire de la répartition des revenus au sein de la société. Les inégalités au sein de la population induisent une satisfaction et des usages différenciés d'une même ressource, empêchant également d'objectiver un taux d'actualisation social. Autrement dit, introduire, comme on le fait aujourd'hui, une règle de Ramsey dans une règle de Hotelling (pour tenter une objectivation des taux d'actualisation) revient à introduire une représentation subjective ou *welfariste* des préférences sociales, option à laquelle Hotelling ne souscrivait pas.

Deuxième point méritant notre attention, Hotelling précise que l'usage du même taux d'intérêt pour actualiser les profits ou actualiser les valeurs futures des utilité-surplus se justifie par le fait qu'est considéré le marché d'une ou deux ressources productives *parmi d'autres*, en équilibre partiel. Leur épuisement n'est pas susceptible de bouleverser significativement les grands équilibres économiques. La situation serait différente si nous étions proche de l'épuisement des ressources de l'ensemble de la Terre : à la veille de l'effondrement, pour parler en termes anachroniques, quand l'humanité serait réduite à la pauvreté extrême, on lui pardonnerait l'usage de taux d'intérêt très élevés (Hotelling, 1931, p. 145) (et ce, en dépit d'un effet richesse nul). Le taux

d'intérêt dépendrait ici d'un ensemble de paramètres parmi lesquels s'immisceraient, notamment, le niveau de richesse d'une société (plus que ses perspectives de croissance) ou le temps restant à l'humanité. Ce faisant, ce taux ne serait pas nécessairement constant sur le long terme.

Dans le cas du budget carbone, quelles leçons en tirer ? Quelles positions Hotelling aurait-il été amené à prendre sur le sujet ? Aurait-il milité pour que soit introduite une valorisation différenciée des émissions de carbone ou une valorisation différenciée des coûts d'atténuation, en fonction de la nature des biens produits ou en fonction d'une hiérarchisation de biens premiers ? Aurait-il également considéré des effets richesse fonctionnant à rebours (les générations futures étant amenées à être moins riches que les générations présentes) ? Nous ne pouvons pas apporter de réponse définitive à ces questions, bien entendu, mais remarquons que la condition d'optimalité proposée par Hotelling en 1931, et ce même lorsque la valeur sociale de la mine est en jeu, ne semble pas proportionnée à un défi collectif ou global, comme celui de l'usage d'un budget carbone, et sans doute pas, non plus, destiné à définir une norme de long terme à taux d'actualisation constant. Le cadre d'analyse de Hotelling n'était pas celui d'un équilibre général ou macroéconomique. Le théorème de l'économie du bien-être que nous évoquions en introduction permettant à Hotelling de comparer la valeur de la ressource en libre concurrence et son exploitation optimale par un monopole public repose justement sur le fait que le monopole public prendrait lui-aussi comme donné, dans un cadre d'équilibre partiel, le taux d'intérêt du marché comme taux d'actualisation. Même dans une acception restreinte, le résultat ne serait pas tout à fait équivalent à un théorème d'économie du bien-être. Comme le remarque Solow (1974, p. 7), ce ne serait le cas que si l'on parvenait à montrer que « la société souhaite escompter les surplus futurs au même taux que les producteurs de mines escomptent leurs propres profits futurs » (*« society wishes to discount future consumer surpluses at the same rate that mine owners choose to discount their own future profits »*). Or justement, en 1931, Hotelling ne se prononce pas sur ce que « souhaite la société ».

De l'été 1931 aux années 1950, Hotelling n'aura de cesse d'envisager des compléments à son modèle initial, pour les ressources biologiques comme mentionné plus haut, pour un stock de ressources n'arrivant finalement pas à épuisement¹⁸, ou encore pour la combinaison de deux ressources épuisables dans le même modèle¹⁹. Rétrospectivement, on constate que ces compléments se sont déployés

en parallèle d'une mise au point plus précise de sa propre analyse (non subjective) du bien-être (Hotelling, 1938) et d'un système de propositions de réformes fiscales à même de corriger les inégalités de répartition engendrées par le capitalisme monopolistique²⁰. Retravaillant la question de l'impact de différents systèmes de taxation dans les industries extractives, abordée à la fin de l'article de 1931, Hotelling est conduit à considérer qu'un impôt proportionnel et anticipé sur la valeur des profits miniers aurait le même impact qu'une augmentation du taux d'intérêt – accélérer l'exploitation, mais aussi réduire le surplus des consommateurs – et que si l'objectif est de préserver la ressource, il vaudrait mieux opter pour des impôts sur la production. Ce faisant transparaissent des formes d'interventionnisme fiscal ouvrant la voix à des modifications du taux d'actualisation.

Des notes préparatoires rédigées pour un séminaire donné à l'École des Mines de Paris, à l'invitation de Maurice Allais au printemps 1951, montrent que Hotelling a poursuivi sa réflexion dans cette voie²¹. Face aux enjeux de justice intergénérationnelle, Hotelling envisage alors explicitement une intervention visant à modifier le taux d'intérêt pour peser sur la vitesse d'exploitation et l'utilité sociale de la ressource. Au moment de donner ses conditions d'optimisation, il définit le taux d'actualisation γ non plus comme le seul taux d'intérêt de marché, mais comme « la force de l'intérêt + une taxe sur la valeur + une provision pour le risque » (« *force of interest + tax rate on value + allowance for risk* ») (voir aussi Franco *et al.*, 2019). L'incorporation d'une provision pour le risque fait écho aux nombreuses incertitudes qui président à l'exploitation des ressources épuisables. La question de la taxe sur la valeur répond, elle, à une logique beaucoup plus politique, ou éthique, l'État devant être le garant d'une justice entre générations. Hotelling écrit ainsi quelques lignes plus loin :

The ethical question remains unsolved: what value of γ should a wise and beneficent state use?

18. « Exhaustible Resources, not all utilized when γ is large », HHP, Box 45, Misc. Problems, Dated 1934.

19. « Monopoly of 2 Minerals (Coal + Iron) », HHP, Box 45, Misc. Problems, Dated 1957-1959.

20. Ses propositions de réformes fiscales visent à substituer les impôts indirects, réputés distordre les prix, par des impôts forfaits sur la terre et les ressources naturelles d'une part, par des impôts progressifs sur le revenu et l'héritage d'autre part. Hotelling défend sur ce point un agenda de réformes dans la lignée des propositions de Henry George (Franco *et al.*, 2019 ; Mueller, 2021).

21. « Light on Mineral Economics Shown by the Calculus of Variations », HHP, Box 13, Econometric Society (2).

Cette phrase nous rappelle les tenants et aboutissants de la règle de Hotelling dans l'esprit de son concepteur. Le facteur d'actualisation, qui paraissait initialement donné, devient amendable, pour inclure des éléments plus politiques relevant, pour reprendre les mots de Hotelling, d'une « question éthique ». À aucun moment on ne trouve trace chez Hotelling d'un quelconque chiffrage de ce taux corrigé : son travail d'économiste-mathématicien se limite à montrer quelles seraient les implications, en termes de répartition intra- et inter-temporelle des revenus, d'un taux d'actualisation rendu ainsi plus ou moins élevé par la politique économique²². Seules la délibération politique et la prise en compte de considérations éthiques sont à même de donner une trajectoire acceptable pour la société. L'économiste pourra alors alerter si ce choix s'avère réellement pertinent au regard des objectifs visés ou s'il faut se méfier de potentiels effets inattendus²³.

Ainsi, considérer la règle de Hotelling comme une clé technique, mécanique de répartition d'une ressource finie entre en dissonance avec son sens profond, en particulier au regard des propositions de Hotelling lui-même. Il n'y a ainsi pas de raison de s'interdire d'insérer des critères de justice, des critères politiques, dans la détermination des trajectoires de prix du carbone à long terme. Depuis le début des années 2000, quelques tentatives sont allées dans ce sens, comme la contribution de Godard (2009) au premier rapport Quinet où l'on voit que l'optimisation inter-temporelle est adaptée à des critères éthiques comme l'altruisme ou, plus significativement encore, l'impératif catégorique kantien. Cette direction semble plus en phase avec l'esprit de la règle de Hotelling que la recherche de seuls critères dits objectifs d'actualisation, même différents du seul taux d'intérêt de marché.

4. Conclusion

Connaître les origines et fondements des outils que l'on emploie peut en révéler les atouts et les faiblesses ou du moins aider à expliciter

22. En ce sens, les analyses contemporaines cherchant à évaluer l'impact d'une taxation du carbone sur la répartition dynamique des rentes et des surplus et sur la probabilité de rester dans le cadre du budget carbone semblent plus cohérentes avec la méthode hotellinienne (Heal & Schlenker, 2019).

23. À Columbia, Hotelling enseignait à ses étudiants que l'économie mathématique n'avait pas tant vocation que cela à établir des résultats. Son rôle était plutôt d'exploiter l'univocité de la relation logique reliant hypothèses et conclusions, pour éclairer certains choix de politique publique (HHP, Box 46, Lectures by Hotelling). Ici, la volonté de taxer les profits dans une recherche d'équité se traduirait par une augmentation du taux d'actualisation aux effets potentiellement contre-productifs sur le bien-être des générations futures.

la façon dont ils peuvent ou non informer l'action publique. L'enjeu n'est bien entendu pas de figer les usages, chaque outil théorique pouvant évoluer avec le temps, mais bien plutôt d'en rappeler la richesse parfois gommée par l'habitude et la transmission. Pour ce qui est de la règle de Hotelling, l'histoire nous rappelle que la règle n'était qu'une première exploration : une condition d'optimalité exprimée en équilibre partiel et servant à discuter des implications de la structuration des industries extractives sur le rythme d'exploitation, et sur la répartition intra- et inter-temporelle des revenus issus de cette exploitation. Hotelling lui-même ne concevait cette exploration que comme un premier pas, devant être complété par une analyse fine des contraintes concrètes d'extraction d'une part et d'autre part par une étude des politiques fiscales proportionnées aux choix éthiques retenus par un pouvoir politique.

Alors que la règle de Hotelling est aujourd'hui utilisée comme clé de répartition d'un budget carbone, quelques observations s'imposent. Son emploi à une échelle si agrégée requiert sans doute prudence et application, quand on se remémore que le résultat de Hotelling était avant tout heuristique, et microéconomique. Les variables d'optimisation retenues (utilité inter-temporelle, utilité-surplus, variable monétaire, etc.) nécessitent également d'être attentivement considérées, quand on connaît le scepticisme originel de Hotelling pour les fonctions utilitaristes de bien-être social. Le choix des facteurs d'actualisation, enfin, n'est pas forcément qu'affaire d'économistes, les efforts d'objectivation se heurtant dans tous les cas à la complexité des enjeux, en particulier distributifs. Sur tous ces sujets, une vigilance particulière semble requise pour que la règle de Hotelling puisse être mobilisée à bon escient au service de la décision publique.

De façon générale, l'exploration des documents personnels de Hotelling montre son attachement à la délibération politique et à la justice intergénérationnelle, bien au-delà de la réputation habituellement faite à la règle qui évacuerait tout autre critère que l'efficacité économique. La règle de Hotelling, dont le dimensionnement n'était pas originellement celui seyant à des enjeux globaux et systémiques comme ceux du changement climatique, n'a donc pas vocation à remplacer tout choix collectif dans la détermination des prix de long terme, en particulier du carbone. Au contraire même, Hotelling invitait ses lecteurs à réfléchir à l'articulation entre enjeux économiques, politiques et éthiques – une invitation éminemment d'actualité face à la complexité des problématiques socio-économiques associés à l'action climatique.

Remerciements

Certains des résultats présentés dans ce papier sont issus d'un projet collectif intitulé « Bifurcations in Natural Resource Economics (1920s-1930s) » et financé par la European Society for the History of Economic Thought (Grant 2017-19). Nous tenons à remercier Roberto P. Ferreira da Cunha, Thomas M. Mueller, Franck Nadaud et Marco P. Vianna Franco pour les discussions conduites au sein du groupe de travail. Merci aussi à Meriem Hamdi-Cherif pour ses encouragements dans ce projet, ainsi qu'aux rapporteurs anonymes qui ont contribué à l'amélioration de ce texte.

Archives

HHP : Harold Hotelling Papers, Rare Book and Manuscript Library, Columbia University, New York, USA.

RAFP : Ronald A. Fisher Papers, Special Collections Library, University of Adelaide, Australia (e-versions).

Références

- Anderson S. T., Kellogg R., & Salant S. W., 2018, « Hotelling under Pressure », *Journal of Political Economy*, vol. 126, n° 3, pp. 984-1026.
- Arrow K. J., Cline W. R., Mäler K.-G., Munasinghe M., Squitieri R., & Stiglitz J. E., 1996, « Intertemporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency », in J. P. Bruce, H. Lee & E. F. Haites (Éds.), *Climate Change 1995?: Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the IPCC* (p. 125-144), Cambridge University Press.
- Arrow K. J., Cropper M. L., Gollier C., Groom B., Heal G., Newell R. G., Nordhaus W. D., Pindyck R. S., Pizer W. A., Portney P., Sterner T., Tol R., & Weitzman M., 2014, « Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis? », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 8, n° 2, pp. 145-163. <https://doi.org/10.1093/reep/reu008>
- Aykut S. & Dahan A., 2011, « Le régime climatique avant et après Copenhague : Sciences, politiques et l'objectif des deux degrés », *Nature Sciences Sociétés*, vol. 19, n° 2, pp. 144-157.
- Baudry S., 2009, « La taxe carbone : un bilan de l'expérience suédoise », *Regards croisés sur l'économie*, vol. 6, n° 2, pp. 142-144.
- Broecker W. S., Takahashi T., Simpson H. J. & Peng T.-H., 1979, « Fate of Fossil Fuel Carbon Dioxide and the Global Carbon Budget », *Science*,

- vol. 206, n° 4417, pp. 409-418. <https://doi.org/10.1126/science.206.4417.409>
- Chichilnisky G., Hammond P. J. & Stern N., 2020, « Fundamental Utilitarianism and Intergenerational Equity with Extinction Discounting », *Social Choice and Welfare*, n° 54, 397-427. <https://doi.org/10.1007/s00355-019-01236-z>
- Chichilnisky G., Heal G. & Beltratti A., 1995, « The Green Golden Rule », *Economic Letters*, vol. 49, n° 2, pp. 175-179. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(95\)00662-Y](https://doi.org/10.1016/0165-1765(95)00662-Y)
- Crabbé P. J., 1986, « Unpublished Fragments on Natural Resources Economics and Excerpt from an Autobiography by Harold Hotelling », *Cahiers de recherche du GREEN*, n° 8601.
- Darnell A. C., 1990, « The Life and Economic Thought of Harold Hotelling », in *The Collected Economics Articles of Harold Hotelling* (p. 1-28), Springer-Verlag.
- Dasgupta P. S. & Heal G., 1979, *Economic Theory and Exhaustible Resources*, James Nisbet Co. and Cambridge University Press.
- Ely R. T., 1918, « Conservation and Economic Theory » in R. T. Ely, R. H. Hess, C. K. Leith & T. N. Carver (Éds.), *The Foundations of National Prosperity. Studies in the Conservation of Permanent National Resources*, Macmillan, pp. 1-92.
- Farzin Y. H., 1984, « The Effect of the Discount Rate on Depletion of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 92, n° 5, pp. 841-851.
- Farzin Y. H. & Tahvonen O., 1996, « Global Carbon Cycle and the Optimal Time Path of a Carbon Tax », *Oxford Economic Papers*, vol. 48, n° 4, pp. 515-536. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals. oep.a028582>
- Ferreira da Cunha R. P., 2020, « Non-Renewable Resource Economics and Geological Constraints: A Review », *Economia – History | Methodology | Philosophy*, vol. 10, n° 3, pp. 507-519. <https://doi.org/10.4000/oeconomia.9697>.
- Ferreira da Cunha R. P. & Missemmer A., 2020, « The Hotelling Rule in Non-Renewable Resource Economics: A Reassessment », *Canadian Journal of Economics*, vol. 53, n° 2, pp. 800-820. <https://doi.org/10.1111/caje.12444>
- France Stratégie, 2019, *La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques. Rapport de la commission présidée par Alain Quinet*, France Stratégie.
- Franco M. P. V., Gaspard M. & Mueller T. M., 2019, « Time Discounting in Harold Hotelling's Approach to Natural Resource Economics: The Unsolved Ethical Question », *Ecological Economics*, vol. 163, pp. 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.005>

- Frederick S., Loewenstein G. & O'Donoghue, T., 2002, « Time Discounting and Time Preference: A Critical Review », *Journal of Economic Literature*, vol. 40, n° 2, pp. 351-401.
- Gadrey J. & Lalucq A., 2015, *Faut-il donner un prix à la nature ?*, Les Petits matins.
- Gaffney M. (Ed.), 1967, *Extractive Resources and Taxation*, University of Wisconsin Press.
- Gaspard M. & Missemér A., 2019, « An Inquiry into the Ramsey-Hotelling Connection », *European Journal of the History of Economic Thought*, vol. 26, n° 2, pp. 352-379. <https://doi.org/10.1080/09672567.2019.1576059>
- Gaspard M. & Mueller T. M., 2021, « Building Comparison Spaces?: Harold Hotelling and Mathematics for Economics », *Journal of Economic Methodology*, vol. 28, n° 3, pp. 255-273. <https://doi.org/10.1080/1350178X.2021.1936597>
- Gaudet G., 2007, « Natural Resource Economics under the Rule of Hotelling », *Canadian Journal of Economics*, vol. 40, n° 4, pp. 1033-1059. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.00441.x>
- Gaugler T., 2015, « What Drives Resource Prices?? A Qualitative Review with Recommendations for Further Development of the Hotelling Model », *Mineral Economics*, vol. 28, n° 1-2, pp. 37-51.
- Godard O., 2009, « Hotelling or not Hotelling?? Comment calibrer la valeur tutélaire de la tonne de gaz à effet de serre de 2010 et 2050?? », in *La valeur tutélaire du carbone. Rapport de la commission présidée par Alain Quinet*, Centre d'analyse stratégique, pp. 317-335.
- Gollier C., 2012, « Actualisation et développement durable : en faisons-nous assez pour les générations futures? », *Annals of Economics and Statistics*, HS1, pp. 57-96. <https://doi.org/10.2307/23646353>
- Gollier C., 2019, *Le climat après la fin du mois*, Presses universitaires de France.
- Gray L. C., 1913, « The Economic Possibilities of Conservation », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 27, n° 3, pp. 497-519. <https://doi.org/10.2307/1883375>
- Gray L. C., 1914, « Rent under the Assumption of Exhaustibility », *Quarterly Journal of Economics*, n° 28, n° 3, pp. 466-489. <https://doi.org/10.2307/1884984>
- Guicherd T., 2017, *Essai sur la genèse de la théorie de la concurrence monopolistique d'Edward H. Chamberlin. Entre histoire subjective et reformulation d'une théorie*, University of Lyon 2, [PhD Thesis].
- Guivarch C. & Taconet N., 2020, « Inégalités mondiales et changement climatique », *Revue de l'OFCE*, n° 165(1), pp. 35-70.
- Halvorsen R. & Smith T. R., 1991, « A Test of the Theory of Exhaustible Resources », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 106, n° 1, pp. 123-140.

- Hart R. & Spiro D., 2011, « The Elephant in Hotelling's Room », *Energy Policy*, vol. 39, n° 12, pp. 7834-7838.
- Hartwick J. M., 1977, « Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources », *American Economic Review*, vol. 67, n° 5, pp. 972-974.
- Hartwick J. M. & Mitra T., 2020, « On Intertemporal Equity and Efficiency in a Model of Global Warming », in G. Chichilnisky & A. Rezai (Éds.), *Handbook on the Economics of Climate Change*, Edward Elgar Publishing, , pp. 326-396
- Heal G., 2017, « The Economics of the Climate », *Journal of Economic Literature*, vol. 55, n° 3, pp. 1046-1063. <https://doi.org/10.1257/jel.20151335>
- Heal G. & Schlenker W., 2019, « Coase, Hotelling and Pigou: The Incidence of a Carbon Tax and CO₂ Emissions », *NBER Working Paper*, n° 26086. <https://doi.org/10.3386/w26086>
- Hotelling H., 1925, « A General Mathematical Theory of Depreciation », *Journal of the American Statistical Association*, vol. 20, n° 151, pp. 340-353. <https://doi.org/10.1080/01621459.1925.10503499>
- Hotelling H., 1929, « Stability in Competition », *Economic Journal*, vol. 39, n° 153, pp. 41-57. <https://doi.org/10.2307/2224214>
- Hotelling H., 1931, « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 39, n° 2, pp. 137-175. <https://doi.org/10.1086/254195>
- Hotelling H., 1932, « Edgeworth's Taxation Paradox and the Nature of Demand and Supply Function », *Journal of Political Economy*, vol. 40, n° 5, pp. 577-616. <https://doi.org/10.1086/254387>
- Hotelling H., 1938, « The General Welfare in Relation to Problems of Taxation and of Railway and Utility Rates », *Econometrica*, vol. 6, n° 3, pp. 242-269. <https://doi.org/10.2307/1907054>
- Hotelling H., 1948, *Western Hotelling and Allied Families. An Epic of Migration*.
- Hourcade J.-C. & Combet E., 2017, *Fiscalité carbone et finance climat. Un contrat social pour notre temps*, Les Petits Matins & Institut Veblen.
- Ise J., 1925, « The Theory of Value as Applied to Natural Resources », *American Economic Review*, vol. 15, n° 2, pp. 284-291.
- Karp L., 2017, *Natural Resources as Capital*. MIT Press.
- Krause F., Bach W. & Koomey J., 1989, *Energy Policy in the Greenhouse. From Warming Fate to Warming Limit*, International Project for Sustainable Energy Paths (IPSEP).
- Lahn B., 2020, « A History of the Global Carbon Budget », *WIREs Climate Change*, vol. 11, n° 3, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1002/wcc.636>
- Livernois J., 2009, « On the Empirical Significance of the Hotelling Rule », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 3, n° 1, pp. 22-41. <https://doi.org/10.1093/reep/ren017>

- Manne A. S. & Richels R. G., 1992, *Buying Greenhouse Insurance. The Economic Costs of CO₂ Emission Limits*, MIT Press.
- Méjean A., Pottier A., Fleurbaey M. & Zuber S., 2020, « Catastrophic Climate Change, Population Ethics and Intergenerational Equity », *Climatic Change*, n° 163, pp. 873-890.
- Missemer A., 2017, *Les Économistes et la fin des énergies fossiles (1865-1931)*, Classiques Garnier.
- Missemer A., 2022, « Un imaginaire fossilisé ? Les représentations économiques de l'énergie au défi de la transition bas-carbone », *Cahiers François Viète*, vol. III, n° 12.
- Missemer A., Gaspard M. & Ferreira da Cunha R. P., 2022, « From Depreciation to Exhaustible Resources: On Harold Hotelling's First Steps in Economics », *History of Political Economy*, vol. 54, n° 1, pp. 109-135. <https://doi.org/10.1215/00182702-9548337>
- Mueller T. M., 2021, « Rescuing Henry George: Optimization, Welfare, and the Monopoly Game in Harold Hotelling's Economic Thought », *History of Political Economy*, vol. 53, n° 5, pp. 925-947. <https://doi.org/10.1215/00182702-9395114>
- National Research Council, 1983, *Changing Climate: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee*, The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18714>
- Nordhaus W. D., 2010, « Economic Aspects of Global Warming in a Post-Copenhagen Environment », *Proceedings of the National Academy of Science*, n° 107, pp. 11721-11726.
- Okullo S. J., Reynès F. & Hofkes M. W., 2015, « Modeling Peak Oil and the Geological Constraints on Oil Production », *Resource and Energy Economics*, n° 40, pp. 36-56.
- Pestre D., 2020, « Comment l'environnement a été géré depuis 50 ans. Anatomie d'un échec », in È. Chiapello, A. Missemer & A. Pottier (Éds.), *Faire l'économie de l'environnement*, Presses des Mines, pp. 17-36.
- Pindyck R. S., 1978, « The Optimal Exploration and Production of Nonrenewable Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 86, n° 5, pp. 841-861.
- Pottier A., 2016, *Comment les économistes réchauffent la planète*, Seuil.
- Pottier A., Méjean A., Godard O. & Hourcade J.-C., 2017, « A Survey of Global Climate Justice: From Negotiation Stances to Moral Stakes and Back », *International Review of Environmental and Resource Economics*, vol. 11, n° 1, pp. 1-53. <https://doi.org/10.1561/101.00000090>
- Quirion P., 2020, « Les instruments de marché dans la lutte contre le changement climatique : Quel bilan? », in È. Chiapello A. Missemer & A. Pottier (Éds.), *Faire l'économie de l'environnement*, Presses des Mines, pp. 161-175.

- Ramos Gorostiza J. L., 2003, « Ethics and Economics: From the Conservation Problem to the Sustainability Debate », *History of Economic Ideas*, vol. 11, n° 2, pp. 31-52.
- Ramsey F. P., 1928, « A Mathematical Theory of Saving », *Economic Journal*, vol. 38, n° 152, pp. 543-559. <https://doi.org/10.2307/2224098>
- RSAS, 2018, *The Prize in Economic Sciences 2018. Press Release*, Royal Swedish Academy of Sciences. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/10/press-economicsciences2018.pdf>
- Saliers E. A., 1922, *Depreciation. Principles and Applications*, The Ronald Press Company.
- Samuelson P. A., 1960, « Harold Hotelling as Mathematical Economist », *The American Statistician*, vol. 14, n° 3, pp. 21-25. <https://doi.org/10.2307/2682168>
- Sinclair P. J. N., 1994, « On the Optimum Trend of Fossil Fuel Taxation », *Oxford Economic Papers*, n° 46, pp. 869-877.
- Slade, M. E., & Thille, H., 2009, « Whither Hotelling: Test of the Theory of Exhaustible Resources », *Annual Review of Resource Economics*, 1, 239-260. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.050708.144223>
- Smith, G. A., 1982, « Natural Resource Economic Theory of the First Conservation Movement (1895-1927) », *History of Political Economy*, 14(4), 483-495. <https://doi.org/10.1215/00182702-14-4-483>
- Solow, R. M., 1974, « The Economics of Resources or the Resources of Economics », *American Economic Review*, vol. 64, n° 2, pp. 1-14.
- Stern, N., 2006, *The Economics of Climate Change. The Stern Review*, Cambridge University Press.
- Strefler, J., Kriegler, E., Bauer, N., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Giannousakis, A., & Edenhofer, O., 2021, « Alternative carbon price trajectories can avoid excessive carbon removal », *Nature Communications*, 12, 2264. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22211-2>
- Wigley, T. M. L., Richels, R. G., & Edmonds, J. A., 1996, « Economic and Environmental Choices in the Stabilization of Atmospheric CO₂ Concentrations », *Nature*, 379, pp. 240-243.

LES CERTIFICATS DE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE COMME INSTRUMENT DE RÉGULATION DE LA POLLUTION NUMÉRIQUE¹

Jean-Philippe Nicolaï

Université Grenoble Alpes, CNRS, INRAE

Lise Peragin

Master 2 EEET, Université Paris-Saclay

L'objectif de cet article est d'étudier la pollution numérique et de s'interroger sur la possibilité d'instaurer des certificats de sobriété numérique qui auraient pour vocation de promouvoir des investissements ou des changements de pratiques en matière de sobriété numérique. Ce projet s'inspire du concept des certificats d'économie d'énergie qui ont été mis en place dans plusieurs pays européens. Le principe serait de mettre en œuvre des obligations portant sur certains acteurs du numérique afin de réaliser des investissements en sobriété numérique.

Mots clés : sobriété numérique, pollution numérique, certificats d'économie d'énergie, technologies de l'information et de la communication, plateformes numériques.

Alors que le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) confirme que les émissions anthropiques de CO₂ sont à l'origine du changement climatique, la part du numérique dans les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) ne cesse d'augmenter. Aujourd'hui estimée à plus de 3 % des émissions mondiales, soit autant que le secteur aérien, cette part pourrait doubler d'ici 2040 si aucune politique de sobriété numérique n'est mise en place (The Shift Project, 2020).

1. Les auteurs remercient la Chaire Énergie et Prospérité pour son soutien financier.

La prise de conscience de l'impact du numérique est récente. Longtemps considérées comme un moyen de communication dématérialisé, les technologies de l'information et de la communication ont d'abord été perçues comme des atouts pour la transition énergétique et écologique de nos sociétés. Leur impact environnemental est pourtant ambigu. Si elles permettent de réaliser des économies d'énergie ou de ressources naturelles dans certains secteurs (IDDRI, 2018), ces technologies sont également à l'origine d'une importante pollution. Tout au long de leur vie, les appareils numériques sont sources d'émissions de GES, mais aussi de pollution des eaux, des sols et de l'air, et contribuent à l'épuisement des ressources abiotiques. L'ensemble des impacts environnementaux issus de la fabrication, l'utilisation et la fin de vie de ces appareils constitue la pollution numérique. Les parts respectives de chaque phase varient selon le pays considéré et il est difficile d'évaluer l'impact d'un équipement ou d'un service numérique particulier tant les chaînes de valeur et les réseaux numériques sont complexes. Quantifier précisément la pollution numérique n'est pas possible à l'heure actuelle par manque de données consolidées et de méthodologie standardisée. Les émissions de CO₂ sont l'aspect le mieux connu de cette pollution, mais leur évaluation est source de controverses méthodologiques. Les modélisations des émissions de CO₂ liées au visionnage de la vidéo en ligne du Shift Project et l'International Energy Agency ont par exemple abouti à des écarts significatifs d'un facteur 4 à 7 du fait d'hypothèses initiales différentes (Efoui-Hess et Geist, 2020). Les deux études s'accordent toutefois sur la nécessité de mieux contrôler le développement du numérique et sa consommation énergétique.

Cette prise de conscience n'est pas entièrement nouvelle car certains enjeux énergétiques et environnementaux du matériel informatique sont étudiés depuis une vingtaine d'années et ont donné lieu à diverses mesures sur lesquelles nous revenons un peu plus loin. Mais la réflexion et les mesures les plus récentes sur ce sujet ont pour originalité de lier ces problématiques et de les considérer comme différents aspects d'un phénomène transversal et global, la pollution numérique. L'ampleur du problème en fait même un nouvel axe de lutte contre le réchauffement climatique des politiques publiques. Le rapport sénatorial sur l'empreinte environnementale du numérique (Sénat, 2020), paru en 2020, est un exemple de cette nouvelle conception des enjeux environnementaux du numérique et des mesures politiques qui en découlent.

Cet article s'inscrit dans cette nouvelle approche et propose un concept original de régulation de la pollution numérique : les certificats de sobriété numérique. S'inspirant des obligations d'économie d'énergie instaurées dans plusieurs pays européens à partir des années 2000, cet instrument repose sur l'idée qu'il existe des similitudes entre le secteur du numérique et le secteur de l'énergie avant l'introduction de ces obligations. Ces certificats permettraient d'internaliser l'externalité environnementale du numérique par le biais des décisions des agents économiques et de corriger certaines défaillances du marché du numérique.

Nous reviendrons brièvement sur le contexte actuel de la régulation de la pollution numérique. Cela nous conduira à souligner l'intérêt de la notion de « sobriété numérique », et les défaillances de marché qui en limitent l'application par les grands acteurs du numérique. Nous analyserons alors les expériences des certificats d'efficacité énergétique qui ont été mis en œuvre dans de nombreux pays. Nous nous intéresserons par la suite à la conception des certificats de sobriété numérique.

1. Les enjeux de régulation de la pollution numérique

Les enjeux énergétiques et environnementaux du numérique sont étudiés depuis la fin des années 1990 (Dedrick et Green, 2010). L'intérêt pour les problématiques environnementales des technologies de l'information et de la communication (TIC) n'a cessé d'augmenter depuis une vingtaine d'années, notamment autour de la notion de « Green It ». Une partie de la recherche s'est concentrée sur les bénéfices environnementaux de la diffusion des TIC, au niveau micro (entreprise) et macro (Asadi *et al.*, 2017). D'autres travaux se sont penchés sur les aspects négatifs de cette numérisation (Marquet *et al.*, 2019). À l'heure actuelle, la compréhension globale de ces enjeux est encore limitée (Verdecchia *et al.*, 2017). L'absence de cadre théorique explique en grande partie ces lacunes (Tushi *et al.*, 2014). La littérature académique s'est concentrée sur des sujets très spécifiques, comme l'optimisation de certaines technologies, et sur certains aspects de la pollution, notamment les émissions de GES. Les effets systémiques et indirects du numérique sur l'environnement sont encore mal connus (Hankel *et al.*, 2018), y compris sur certains segments très étudiés comme les centres informatiques (Whitehead *et al.*, 2014). En découlent la difficulté à quantifier ces impacts et les importants écarts d'estimation liés aux choix méthodologiques.

En parallèle du développement de ce champ de recherche académique, en France, plusieurs initiatives ont été menées dans la sphère politique pour limiter les impacts environnementaux du numérique et normaliser les pratiques de « Green It ». De nombreux labels sont apparus pour renseigner le consommateur sur certaines caractéristiques de matériel informatique comme la performance énergétique ou la réparabilité². Plusieurs normes ISO s'appliquent à divers sous-secteurs du numérique³ et il existe également des réglementations sur la fin de vie des appareils électroniques⁴ ou l'interdiction de l'obsolescence programmée⁵ ainsi que des codes de bonne conduite pour certains acteurs du numérique⁶. Ces mesures sont cependant limitées car elles ne prennent en compte qu'un aspect du problème, comme la consommation énergétique ou le processus de fabrication d'un produit, sans le considérer comme un élément du phénomène plus vaste et transversal qu'est la pollution numérique.

En France, cette approche globale a récemment émergé dans les travaux de divers organismes faisant état de la pollution numérique ou proposant des mesures concrètes pour la réguler (Bohas *et al.*, 2019). Certains sont issus de la société civile. On peut notamment mentionner les études du Shift Project sur le numérique (The Shift Project, 2018, 2020, 2021), les travaux des communautés GreenIt (Bordage et GreenIt, 2019) et GDS EcolInfo⁷, ou encore des rapports d'ONG comme GreenPeace (GreenPeace, 2016) ou le WWF (WeGreenIt et WWF, 2018). Si leur objet d'étude ou leurs analyses diffèrent sous certains aspects, ces travaux partagent une même approche globale et transversale de la pollution numérique. Des mesures originales ont également été prises dans la sphère politique. En 2020 est paru le rapport de la mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique par la Commission de l'aménagement du territoire et du

2. On peut notamment citer la certification TCO qui a été créée spécifiquement pour le matériel informatique en 1992 par la Swedish Confederation of Professional Employees.

3. Par exemple, la norme ISO 14001 fixe les exigences sur la performance environnementale d'un centre informatique de manière systématique et la norme ISO 50001 celles relatives à la performance énergétique.

4. La loi Anti-gaspillage pour une économie circulaire (AGEC), entrée en vigueur en février 2020, comporte un volet sur le numérique qui impose, entre autres, un indice de réparabilité aux smartphones, ordinateurs et téléviseurs (article 16-I de la loi n° 2020-105).

5. L'obsolescence programmée est définie et sanctionnée dans le Code de la consommation (articles L.441-2 et L.454-6).

6. Le Code européen de bonne conduite des centres informatiques définit les pratiques limitant l'empreinte carbone des centres informatiques.

7. Fondé en 2006, le GDS EcolInfo est un groupe de travail de chercheurs, ingénieurs et étudiants, analysant les impacts environnementaux et sociétaux des TICs.

développement durable du Sénat. Il rappelle que cette pollution est un « angle mort des politiques environnementales et climatiques », aussi bien au niveau national qu’international et qu’il manque une évaluation fiable de ces différents impacts. Il fait plusieurs recommandations et certaines ont été reprises dans la proposition de loi Réduire l’empreinte environnementale du numérique (Reen). Celle-ci vise à mieux informer les utilisateurs sur leur impact environnemental, à limiter le renouvellement des équipements numériques, à mieux réglementer certains acteurs du numérique comme les centres de données et à donner aux organismes publics un rôle d’exemplarité dans ce domaine. Une feuille de route « Numérique et environnement » a également été publiée à la suite d’une collaboration entre le Conseil national du numérique (CNNum) et le Haut conseil pour le climat (CNNum, 2020). Se présentant comme le début d’une nouvelle politique publique, elle propose une quinzaine de mesures destinées à limiter l’empreinte environnementale du numérique tout en soutenant la création d’emplois et la croissance économique. Les impacts environnementaux du numérique font également l’objet de plusieurs propositions de la Convention citoyenne pour le climat, ainsi que d’un rapport de l’Ademe (ADEME, 2019) intitulé « La face cachée du numérique ». Cette préoccupation a même émergé au niveau européen : vingt-six pays ont reconnu cette année la nécessité de faire converger les transitions écologiques et numériques pour mener à bien le Green Deal⁸.

Au-delà de ces réglementations environnementales, d’autres débats contemporains sur la régulation du secteur numérique ouvrent des pistes de réflexion originales pour limiter cette pollution. Il s’agit de la protection des données personnelles et de l’addiction aux écrans. Le lien entre ces deux thématiques et la pollution repose dans le modèle économique des grandes entreprises qui produisent des services numériques. Ce dernier est basé sur la collecte massive de données sur les utilisateurs. Celles-ci sont ensuite revendues à d’autres entreprises commerciales ou utilisées par l’entreprise pour améliorer ses propres services. Plus un utilisateur passe du temps en ligne, plus la quantité de données collectées à son sujet augmente. Afin de prolonger ce temps d’utilisation, ces entreprises ont développé des stratégies sophistiquées afin de retenir l’attention des utilisateurs. Elles consistent notamment à profiter de biais attentionnels et cognitifs grâce au design des interfaces

8. *EU countries commit to leading the green digital transformation*, mars 2021. Trouvé sur europa.eu

numériques (sites internet ou application). Le pendant de la consommation massive de ces services est l'existence d'un vaste réseau informatique nécessaire au transit et au stockage des données générées par la consommation des services numériques. En 2019, on dénombrait ainsi près de 67 millions de serveurs hébergés et 10 millions d'antennes relais (Bordage et Greenlt, 2019). Plus les activités d'une entreprise fournisseur de services numériques se développent, plus ses besoins en matériel informatique, en infrastructures réseau, en centres de données et en électricité augmentent, et plus elle pollue. Aussi, réguler les activités de ces entreprises ou modifier les comportements des utilisateurs permet d'agir indirectement sur la pollution numérique. L'enjeu est avant tout de limiter le volume de données qui transite sur les réseaux et qui crée la demande en matériel informatique et en infrastructures.

Ce volume peut d'abord être influencé par les réglementations sur la vie privée des utilisateurs. En Europe, le Règlement général sur la protection des données (RGPD) a institué de nouvelles règles relatives à la collecte des données personnelles qui réduiraient *a priori* ce besoin. Il s'agit par exemple du principe de minimisation de la collecte de données ou du droit à l'effacement. Cependant, aucune étude n'ayant été faite sur ce sujet, nous ne pouvons pas déterminer précisément l'impact du RGDP sur la pollution numérique. L'autre axe de régulation est l'addiction aux écrans. De plus en plus dénoncée pour ses effets néfastes sur la santé, elle est devenue la cible de certaines politiques. Aux États-Unis par exemple, un sénateur républicain a proposé d'interdire le défilement (scroll) infini d'une page et de mieux informer les utilisateurs sur leur temps passé en ligne⁹. De telles mesures iraient *a priori* dans le sens d'une réduction du volume de données en limitant les activités en ligne, mais il n'existe là non plus aucune étude permettant d'évaluer cet effet.

2. La sobriété numérique : réguler pour réduire l'impact environnemental

Un dernier axe possible pour réduire la pollution numérique consiste à limiter notre consommation de biens et services numériques. Il s'agit de la sobriété numérique, terme introduit en France en 2008 par Frédéric Bordage et désignant « la démarche qui consiste à conce-

9. *Sen. Hawley Introduces Legislation to Curb Social Media Addiction*, juillet 2019. Trouvé sur senate.gov

voir des services numériques plus sobres et à modérer ses usages numériques quotidiens » (GreenIt, 2008). Il est depuis employé de façon plus large par d'autres organismes. La feuille de route « Numérique et environnement » du CNNum l'utilise par exemple pour désigner « les outils et les usages numériques plus respectueux de l'environnement » (CNNum, 2020), et le rapport d'information du Sénat la présente comme « les bonnes pratiques contribuant à réduire [l']empreinte environnementale du numérique » (Sénat, 2020). Nous retenons dans cet article une acception large du terme de sobriété numérique, définie comme l'ensemble des pratiques visant à réduire l'impact environnemental du numérique. Elle recouvre les démarches d'écoconception des services et des équipements numériques, mais aussi celles qui visent à réguler leur consommation.

Cette définition implique qu'une grande diversité d'acteurs peut agir pour limiter la pollution numérique selon la phase du cycle de vie où ils interviennent. Les pratiques de sobriété numérique sont pourtant rarement mises en place. Trois grandes défaillances de marché l'expliquent : des externalités négatives non internalisées, des problèmes informationnels et une rationalité limitée de la part des utilisateurs. Pour expliciter ces défaillances, nous allons nous intéresser à quelques acteurs clé du numérique.

Les centres informatiques sont devenus des symboles de l'impact environnemental du numérique à cause de leur importante consommation énergétique et des émissions de GES qu'elle induit. On estime aujourd'hui qu'ils représentent près de 1 % de la consommation électrique mondiale¹⁰. Depuis une dizaine d'années, ces centres ont bénéficié d'innovations techniques qui leur ont permis de découpler partiellement leur capacité informatique de leur consommation énergétique (Masanet *et al.*, 2020). Cette recherche répond à des exigences environnementales mais aussi à un objectif de réduction des coûts. Aujourd'hui, alors que des études annoncent un ralentissement des gains d'efficacité, la recherche se poursuit pour limiter l'empreinte carbone de ces centres. Des systèmes informatiques intelligents apparaissent tandis que d'autres entreprises, comme Google, cherchent à alimenter leurs centres uniquement à partir d'énergies non carbonées. Ces efforts, qui se concentrent sur les émissions de GES, témoignent

10. *La consommation électrique des data centers a-t-elle été surévaluée ?, mars 2020.* Trouvé sur connaissancedesenergies.org

d'une prise en compte croissante de la problématique environnementale par les centres informatiques.

Les fournisseurs d'accès internet (FAI) ont également une position stratégique pour limiter la pollution numérique. Situés au cœur des systèmes numériques, ils donnent un accès internet aux autres acteurs du secteur et gèrent les infrastructures de réseau. L'impact environnemental de ces dernières est faible comparé à celui des centres informatiques et des terminaux¹¹. Les FAI peuvent toutefois contribuer significativement à la réduction de la pollution numérique générée par leurs infrastructures par les contrats qu'ils passent avec leurs clients afin de réduire le volume total de données qui transitent dans leurs réseaux. Les offres de forfaits internet pour les particuliers en sont un exemple. En effet, la connexion mobile est plus consommatrice d'énergie que la connexion filaire, or de plus en plus d'utilisateurs ont recours à la première. Limiter la quantité de données des forfaits mobiles permettrait d'inciter les utilisateurs à passer par une connexion filaire, ce qui réduirait leur impact environnemental et celui des infrastructures de réseau. On observe cependant une tendance inverse sur le marché des offres de forfaits mobiles.

Les grands fournisseurs de contenus et d'applications (FCA) tels que YouTube et Facebook ont également une responsabilité importante dans la pollution numérique. Leur impact environnemental est d'abord issu de leur demande en centres informatiques et en infrastructures de réseaux. Sur ce premier point, les grandes entreprises du numérique, à l'instar de Google, ont réalisé d'importants investissements pour réduire leur impact, en recourant notamment aux énergies renouvelables et à l'intelligence artificielle. Sur le deuxième point, les pratiques des principaux FCA sont loin d'être sobres. Leur important besoin en bande passante en fait les principales sources du trafic de données¹². L'augmentation de ce dernier crée des risques de congestion des réseaux, ce qui entraîne une demande en infrastructures de réseau plus performantes. Même si les nouvelles infrastructures sont plus performantes, les meilleures capacités du réseau permettent de développer de nouveaux services numériques, ce qui produit un effet rebond qui annule les gains d'efficacité. Par exemple, avec les nouvelles généra-

11. Leurs parts dans les émissions totales de GES du numérique en France sont respectivement de 5 %, 81 % et 14 % (Sénat, 2020).

12. Quatre fournisseurs de contenus (Netflix, YouTube, Akamai et Facebook) étaient à l'origine de 50 % du trafic internet en France en 2018 (ARCEP, 2021).

tions de réseaux mobiles ont été inventés de nouveaux usages du téléphone mobile, souvent plus consommateurs de données. Aussi, réduire les besoins en bande passante des FCA permet indirectement de limiter la pollution numérique. Les FCA ont exceptionnellement recours à ces pratiques contre des risques ponctuels de saturation des réseaux¹³. Leur normalisation permettrait de limiter durablement le volume de trafic de données.

Enfin, les utilisateurs ont la capacité de réduire significativement leur impact environnemental à travers leurs choix d'équipements et leurs comportements en ligne. Ces pratiques de sobriété numérique sont très diverses mais on peut les regrouper en deux catégories : celles qui concernent l'équipement et celles qui s'appliquent aux activités en ligne. Les terminaux sont l'une des principales sources de pollution numérique. Cet impact provient avant tout de leur phase de fabrication car leurs composants électroniques contiennent des métaux rares dont l'extraction est très polluante et énergivore. En France par exemple, où le mix énergétique est très peu carboné, 81 % des émissions de GES du numérique sont issues des terminaux, et 86 % de cette part est liée à leur fabrication et à leur distribution (Sénat, 2020). Leur taux de renouvellement est par ailleurs élevé et ils sont souvent renouvelés alors qu'ils fonctionnent encore. Parmi les facteurs qui expliquent ce renouvellement fréquent, on trouve la difficulté à réparer certains appareils, les effets de mode et l'obsolescence programmée. Le recyclage des terminaux est pourtant mal maîtrisé car il est peu rentable et techniquement complexe. Un premier pas vers la sobriété consiste ainsi à choisir un appareil reconditionné ou bien un modèle réparable doté d'un écolabel et à le conserver aussi longtemps qu'il fonctionne. Les utilisateurs peuvent également réduire leur impact environnemental à travers leurs activités numériques. Comme nous l'avons expliqué, toute activité en ligne est source de pollution numérique du fait du trafic de données qu'elle génère, et certains services numériques sont plus consommateurs de données que d'autres. La vidéo en ligne est par exemple l'un des principaux facteurs de croissance du volume total de données (The Shift Project, 2019). En réduisant leur consommation des services les plus consommateurs de données, les utilisateurs limitent la pollution numérique induite par leurs activités en ligne.

13. Lors du premier confinement en France en 2020, Netflix, YouTube, Instagram et Facebook ont limité le débit de leurs vidéos pour éviter une congestion des réseaux. D'après *Facebook et Instagram réduisent leurs débits pour éviter la congestion d'Internet en Europe*, mars 2020. Trouvé sur bfmtv.com

Ces pratiques de sobriété numérique du côté des producteurs du numérique comme des utilisateurs sont encore rares du fait des défai- lances de marché qui existent dans ce secteur. Les externalités environnementales générées par les activités des divers agents ne sont pas internalisées. Les agents du numérique et le régulateur font face au déficit d'information sur les impacts de données des milliards d'utilisateurs. Non seulement le régulateur manque d'informations fiables sur la pollution numérique mais il dispose de beaucoup moins d'informations relatives aux comportements en ligne des utilisateurs. Celles-ci sont majoritairement détenues par les FAI et par les FCA. Les premiers ont connaissance de toutes les données de connexion et sont tenus par la loi de les garder confidentielles (Conseil de l'UE, février 2021). Les seconds peuvent quant à eux exploiter à des fins commerciales les données collectées sur leurs utilisateurs. Parce qu'ils captent une grande partie du trafic internet, ils détiennent des informations particuliè- rement précises sur les habitudes et les profils de leurs utilisateurs. Cette asymétrie d'information limite la capacité du régulateur à orienter les choix des utilisateurs pour en limiter les externalités négatives.

Notons par ailleurs que les décisions des utilisateurs sont influencées à la fois par des biais cognitifs et par la stratégie addictive des grandes entreprises du numérique. Les interfaces numériques favorisent en effet les biais cognitifs, soit la distorsion du traitement cognitif de l'information. Les plateformes numériques ont développé des stratégies afin que ces biais conduisent les utilisateurs à prolonger leur temps en ligne ou à dépenser davantage sur des sites de e-commerce. Même s'ils dispo- saient d'une information parfaite sur leur impact environnemental, les utilisateurs ne seraient pas en mesure de faire des choix optimaux d'un point de vue privé ou social. Ils consomment davantage d'équipements et de services numériques que ce qui serait optimal au niveau indivi- duel et collectif.

Ces défai- lances de marché rendent nécessaire une régulation du secteur du numérique. Les certificats de sobriété numérique partent de l'idée qu'il existe des similitudes entre les défai- lances du secteur du numérique et celles qui existent en matière d'efficacité énergétique. Ils visent à modifier les pratiques en matière de numérique afin de limiter l'externalité négative engendrée par ce secteur. Dans la partie suivante, nous allons rappeler les principales modalités de mises en œuvre des certificats d'économie d'énergie en Europe et détaillerons leurs résultats.

3. S'inspirer des expériences des certificats d'efficacité d'énergie

En Europe, les certificats d'économie d'énergie ont été instaurés au Royaume-Uni, en Italie, au Danemark, en Irlande et en France depuis 2006 (loi POPE n°2005-781 du 13 juillet 2005). Ils visaient notamment à mettre en œuvre l'objectif européen de réaliser chaque année jusqu'en 2020 des économies d'énergie équivalentes à 1,5% des volumes annuels moyens d'énergie vendus sur la période 2010-2012 (directive 2012/27/UE du 25 octobre 2012). À la suite de l'entrée en vigueur de la directive de l'UE sur l'efficacité énergétique (2021/27/EU), d'autres pays ont adopté ce dispositif. Il est aujourd'hui présent dans une quinzaine de pays européens.

Cet instrument repose sur l'imposition d'objectifs d'économie d'énergie à certaines entreprises, appelées « obligés », *via* des mesures améliorant les technologies utilisées par leurs clients. Les économies sont généralement calculées *ex-ante* sur la base d'actions standardisées. Ces mesures peuvent être techniques, informationnelles ou financières. Ce dispositif permet d'internaliser les externalités liées à l'utilisation d'énergie ainsi que de limiter l'« energy efficiency gap » (Giraudet et Finon, 2014), soit l'écart entre les pratiques et le potentiel technologique d'efficacité énergétique d'un pays. Le recours aux certificats est aussi un moyen de remédier à certaines défaillances du marché de l'efficacité énergétique telles que les problèmes informationnels, les aléas moraux autour de l'installation d'une technologie, l'organisation inefficiente de l'industrie de l'efficacité énergétique, ou encore la présence d'externalités positives en matière de technologie. Le point de départ de ces politiques est que des pratiques rentables et plus efficaces énergétiquement ne sont pas adoptées. Ce point fait directement écho aux observations que nous avons faites précédemment à propos de la pollution numérique.

Notons que les pays cités auparavant ont conçu différemment les certificats d'efficacité énergétique. Les modalités diffèrent principalement en termes d'échangeabilité des obligations, d'identification des obligés, de la métrique retenue, du report ou non des certificats sur une autre période et des éligibles et de la détermination des actions autorisées. Le choix de ces modalités répond aux objectifs du pays, aux contraintes qu'il rencontre et à la présence ou non d'autres instruments.

La Grande-Bretagne est le premier pays européen à avoir instauré cet instrument en 2002. Elle souhaitait réduire sa demande énergétique afin de limiter sa dépendance extérieure. Les obligés sont des fournisseurs d'énergie de grande taille ayant une relation directe avec le client final. Six entreprises ont été désignées. Les actions peuvent être réalisées chez ses propres clients ou dans d'autres ménages. Une particularité du dispositif britannique est sa visée sociale : les obligés doivent réaliser près de la moitié de leurs actions chez des ménages modestes. Aucun marché d'échanges de certificats n'a été instauré, et les échanges bilatéraux ne peuvent se faire qu'avec une autorisation préalable du régulateur. Les sanctions en cas de manquement aux objectifs sont décidées au cas par cas afin de ne pas fixer un prix de référence des certificats qui créerait des distorsions sur le marché de l'efficacité énergétique.

En 2005, l'Italie a également mis en place des certificats blancs afin de réduire sa demande énergétique, gagner en compétitivité et limiter ses émissions de GES. Le dispositif italien présente plusieurs différences significatives par rapport à la Grande Bretagne. Il concerne tous les secteurs. Le nombre d'obligés est bien plus grand (100 000 au départ et 50 000 depuis 2008). Ils peuvent choisir parmi vingt-deux actions standardisées. Ces mesures ne peuvent être réalisées que chez leurs clients et une plateforme numérique a été créée afin de faciliter ces échanges de certificats. Afin de couvrir les coûts des certificats, les obligés peuvent bénéficier d'une contribution tarifaire différenciée et réglementée, ce qui a conduit à d'importants bénéfices privés (Eyre *et al.*, 2009).

Les certificats ont été introduits un an après en France, qui poursuivait les mêmes objectifs de sécurité énergétique et de compétitivité que ses voisins européens. Le dispositif concerne tous les secteurs non couverts par l'European Trading Scheme (ETS), soit le transport, l'industrie de l'éclairage, et le logement. Cent trente-sept actions standardisées sont enregistrées, avec une grande partie concernant le secteur du logement et 2 400 obligés sont répertoriés. Leurs objectifs sont annuels et sont fixés en proportion de leurs ventes dans le secteur résidentiel, avec des coefficients variables selon l'énergie utilisée. Les actions peuvent se faire chez leurs clients ou chez ceux de leurs concurrents. Des organisations publiques ou privées non soumises à des obligations peuvent produire des certificats et les vendre. En effet, s'il n'existe pas de plateforme officielle, les certificats non utilisés peuvent être vendus *via* des échanges bilatéraux soumis à une autorisation du

régulateur. Ils peuvent également être utilisés à la période suivante. De surcroît, le mécanisme coexiste avec un autre dispositif ciblant l'efficacité énergétique mais destiné aux particuliers : le crédit d'impôt dédié au développement durable.

Les études menées sur ces certificats blancs concernent avant tout les pays qui en ont la plus longue expérience, soit la Grande Bretagne, l'Italie et la France. Parmi les principales conclusions et défis identifiés, on peut en souligner quelques-uns qui pourraient concerner des certificats de sobriété numérique et le secteur du numérique.

D'une part, les obligations ont été respectées dans ces trois pays. Les objectifs ont même été dépassés et revus à la hausse. Cela s'explique notamment par leur rentabilité : le coût d'un négawatt, soit d'un kWh économisé, est inférieur au coût de production d'un kWh. En Italie, le prix des certificats a même baissé entre 2005 et 2009. On constate cependant des différences significatives dans les stratégies des obligés et dans l'impact de ce dispositif sur le marché de l'efficacité énergétique. Dans chaque pays, les obligés ont d'abord visé les « low hanging fruits » (Giraudet *et al.* 2012), des économies d'énergies faciles, qui dépendent des infrastructures existantes et du contexte réglementaire. Il s'agit en Grande-Bretagne de mesures d'isolation, en France de technologies de chauffage et en Italie d'ampoules plus performantes. En France, les obligés ont également profité du CIDD pour promouvoir des actions standardisées éligibles à ce crédit d'impôt. En Grande-Bretagne, l'obligation de cibler des ménages modestes a incité les obligés à collaborer avec des gérants de logements sociaux pour des contrats d'isolation, ce qui leur a permis de réaliser des économies d'échelle.

L'impact sur la structure de l'industrie de l'énergie a été variable. En Grande Bretagne, les six obligés ont élaboré leur propre programme et en ont fait un argument marketing. La plupart des mesures se faisaient sous la forme de subventions données aux ménages. Très peu d'échanges de certificats ont été réalisés. Les obligés ont cependant collaboré avec certains spécialistes de l'efficacité énergétique dans le domaine de l'isolation, du vitrage ou du chauffage. Mais le dispositif a globalement peu modifié le secteur de l'énergie britannique. Au contraire, en France et en Italie, les certificats ont fait évoluer cette industrie. En France, les fournisseurs ont développé de nouveaux services pour inciter ou soutenir l'investissement des ménages dans leurs équipements : conseils, audits individuels, mais aussi partenariats

avec des banques ou des détaillants pour des crédits à bas taux ou des réductions de prix. En Italie, l'impact du dispositif sur le secteur énergétique a été plus important encore. Les obligés étant des distributeurs, ils n'ont pas de contacts directs avec le consommateur final. Leur stratégie s'est donc axée sur l'achat de certificats à d'autres agents plus proches des clients finaux *via* la plateforme numérique officielle. Cela a incité des firmes non obligées à émettre des certificats et de nouvelles entreprises de services en efficacité énergétique ont été créées (Eyre, 2009).

Au-delà de ce succès en termes d'atteinte des objectifs et d'analyse coûts-bénéfices des obligés, ce dispositif présente plusieurs limites. D'abord, l'efficacité réelle des certificats en termes d'impact environnemental est à nuancer. Les économies sont calculées *ex-ante* sur la base d'actions standardisées. Par manque de données, il est difficile d'évaluer l'impact *ex-post* et de vérifier le réalisme des hypothèses de calcul, qui sont variables selon les pays. De plus, il existe des aléas moraux qui peuvent limiter l'efficacité d'une technologie, comme une mauvaise installation ou un usage sous optimal par le ménage bénéficiaire. Les certificats n'évitent pas non plus un effet rebond qui peut être important du fait des économies réalisées grâce à une technologie plus efficace. Par ailleurs, les bénéfices et les coûts de ce dispositif sont inégalement répartis au sein des ménages (Giraudet *et al.*, 2020). En l'absence de mécanisme recouvrant les coûts des certificats supportés par les obligés, ceux-ci augmentent le prix de leurs services. Les ménages qui bénéficient de mesures d'économie d'énergie profitent donc du dispositif, alors que tous sont soumis à l'augmentation des prix de ces entreprises. Il peut également y avoir des comportements opportunistes de la part de ménages qui comptaient faire des investissements indépendamment des subventions accordées par leur fournisseur ou leur distributeur. La contrainte imposée par le gouvernement britannique de cibler des ménages modestes permet de limiter ces comportements opportunistes et l'augmentation de la part du budget consacrée à l'énergie chez les ménages modestes.

Nous avons vu que le mécanisme de certificat est particulièrement flexible pour s'adapter aux différents objectifs et contingences d'un pays. Nous allons à présent discuter des modalités possibles pour la mise en place de certificats de sobriété numérique.

4. Concevoir les certificats de sobriété numérique : propositions

Nous allons à présent nous intéresser à la conception des certificats de sobriété numérique et aux différentes modalités envisageables. Cet instrument n'existe pas à l'heure actuelle, mais ces réflexions, non prescriptives, ont pour but d'ouvrir le débat. Elles mettent en exergue les grandes questions auxquelles des régulateurs seraient confrontés s'ils instauraient un tel mécanisme, dans un cadre français voire européen car la flexibilité de cet instrument permettrait de l'adapter à divers périmètres.

Un certificat de sobriété numérique serait une obligation pour certaines entreprises de réduire l'impact environnemental du numérique. Si cette définition est de manière délibérée assez générale, le régulateur pourra en fonction de ses objectifs opter pour une définition plus spécifiée. Comme nous l'avons vu précédemment, un tel mécanisme pourrait servir à corriger différentes défaillances de marché qui sont à l'origine de la pollution numérique. Pour réduire l'impact environnemental du numérique, différentes actions sont possibles mais toutes n'ont pas la même finalité. Certaines ont pour objectif de rendre les activités de certaines entreprises moins polluantes et d'autres pour finalité de rendre le consommateur final plus sobre. Si les premières résultent de l'internalisation l'externalité environnementale, les secondes ont pour but de répondre aux problèmes informationnels et aux biais comportementaux. Nous allons dénommer les premières actions comme internes et les deuxièmes comme externes.

Notons que les certificats d'efficacité énergétique sont une délégation de la politique de promotion de l'efficacité numérique aux énergéticiens, justifiée par la plus grande expertise et la plus grande connaissance des consommateurs qu'ont ces derniers par rapport au régulateur. Comme on l'a vu, les FAI, les FCA et les centres informatiques ont un avantage informationnel et technique sur le régulateur et sont directement en contact avec les utilisateurs de numérique. Ceci justifie la prise en compte des actions externes dans les actions autorisées pour les certificats de sobriété numérique. Posons-nous à présent la question suivante : faut-il intégrer ou non les actions internes dans les actions possibles ? Le certificat de sobriété numérique agirait alors comme un quota d'actions que devra réaliser l'entreprise et qui permettra l'internalisation par l'entreprise de l'externalité environnementale. Nous comprenons donc qu'autoriser à la fois des actions

internes et externes est équivalent à utiliser un instrument pour pallier à plusieurs défaillances de marché. Nous savons qu'il est plus aisé de rendre acceptable par les entreprises la mise en place d'un instrument corigeant plusieurs défaillances que l'instauration de deux instruments différents. Cependant, un tel instrument est souvent moins efficace que deux instruments à la fois. Nous discuterons de l'efficacité par la suite et de l'intérêt d'autoriser les deux types d'actions à la fois.

Revenons à notre définition. La définition large que nous avons retenue permet la prise en compte d'actions répondant à différentes défaillances car il n'existe actuellement pas d'instrument de régulation de la pollution numérique. Toutefois, l'apparition d'autres instruments pourrait conduire à une réorientation des objectifs vers la correction des externalités non visées et donc à une définition plus spécifiée des certificats de sobriété énergétique. Dit autrement, si un instrument était instauré pour permettre l'internalisation de l'externalité environnementale, il serait préférable d'utiliser les certificats de sobriété numérique pour promouvoir l'adoption de pratiques plus sobres par les utilisateurs. Le conditionnement de la réduction de la TICFE pour les centres informatiques¹⁴ est un exemple d'instrument qui serait complémentaire aux certificats de pollution numérique.

Nous pouvons à présent nous demander, dans le cas où les deux types d'actions sont autorisés, s'il y en aurait un qui serait préféré par les entreprises. Bien entendu, la décision dépendrait des coûts de réalisation des actions. Notons toutefois que peuvent entrer en considération les coûts de transactions nécessaires pour cibler des consommateurs mais aussi la capacité ou non à répercuter le coût des certificats dans le prix des transactions marchandes (accès à internet, vente des données, etc.). Les actions externes génèrent un coût de mise en conformité alors que les actions internes peuvent affecter le coût marginal de production. Dès lors, il existerait un risque qu'un type d'actions (ou certaines d'entre elles) domine l'autre. Si *a priori* d'un point de vue environnemental, la réalisation d'actions internes est équivalente à celle d'actions externes, le régulateur pourrait souhaiter que les deux types d'actions soient réalisés. En effet, le régulateur peut souhaiter que les entreprises et les consommateurs modifient tous leurs pratiques. De surcroît, les effets redistributifs sur ces acteurs peuvent

14. La Loi de finances 2021 rend l'éligibilité à l'abattement de la TICFE pour les centres informatiques conditionnée à des critères environnementaux à partir du 1^{er} janvier 2022.

être différents en fonction du type d'actions réalisés (coûts psychologiques pour les consommateurs de changer de pratiques, effets sur les prix ou l'accroissement des coûts pour avoir accès à certains services numériques). Une possibilité pour le régulateur serait de définir quelle part des obligations doit être convertie en actions internes et quelle part en actions externes. Introduire alors ces nouvelles contraintes peut permettre de contrôler ou du moins de mieux répartir l'ensemble des coûts entre tous les acteurs.

Une fois que la définition des certificats et le périmètre des actions ont été discutés, nous allons nous interroger sur l'identification des obligés et des éligibles. Nous avons vu que pour les certificats d'efficacité énergétique, les pays étudiés ont opté pour des identifications différentes des obligés et des éligibles. Nous allons cependant discuter des critères qui nous semblent cruciaux pour déterminer sur qui porteront les obligations et éventuellement si des acteurs pourront produire des certificats. Selon nous, doivent être les obligés toutes les entreprises qui contribuent au trafic des données. En effet, elles génèrent ou participent à la production de l'externalité environnementale. La spécificité du problème ici est que l'externalité environnementale n'est pas due à une entreprise spécifique telle que les centres informatiques mais aussi aux producteurs de contenus ou aux fournisseurs d'accès qui ont une responsabilité dans la production de l'externalité. Cette notion de responsabilité doit être discutée et des choix politiques doivent être faits pour l'interpréter. Notons aussi qu'un mécanisme tel que le certificat peut être compliqué pour des petites entreprises à mettre en place et nous considérons que des seuils doivent être établis. Interrogeons-nous à présent sur l'intérêt d'autoriser certains acteurs qui n'ont pas d'obligations de générer des certificats. Cette stratégie a pour but de réduire le coût des obligations et de profiter de l'expertise et des connaissances de certains acteurs pour réduire l'empreinte environnementale du numérique.

Une autre question importante est de savoir quelle métrique utiliser. Trois mesures semblent adaptées : les émissions de CO₂, les kWh et les octets. Si les deux dernières sont facilement mesurables pour des actions de sobriété numérique, elles ne conviennent pas à toutes les actions de sobriété numérique. Par exemple, il semble peu pertinent de convertir l'optimisation de la consommation de données d'une application mobile en kWh évités. En revanche, les émissions de CO₂ sont l'unité couramment utilisée pour parler des objectifs environnementaux.

taux et les émissions peuvent être calculées à partir d'autres unités de mesures (kWh, octet). Toutefois, utiliser une telle mesure limiterait l'instrument des certificats de sobriété numérique seulement aux effets du numérique sur les émissions de carbone, et occulterait les autres impacts environnementaux du numérique tels que la pollution des eaux. Dit autrement, le choix de la métrique résulte de l'objectif défini par le régulateur.

Interrogeons par ailleurs sur la transférabilité ou non des certificats. Cette possibilité permet de faire des gains en efficacité en profitant des activités de sobriété les moins coûteuses. Toutefois, la question est connexe à celle de créer ou non un marché. Un danger possible serait que certains acteurs aient un pouvoir de marché sur ce marché et puissent adopter des stratégies de prédatation pour affecter leurs concurrents (Hintermann, 2017). Dès lors, le choix de créer un marché spécifique est justifié que si le nombre d'acteurs est suffisant et qu'aucun n'a une taille suffisante pour être stratégique vis-à-vis du prix des permis.

Finalement, comme nous l'avons vu avec les certificats d'efficacité énergétique, il est primordial de définir les actions possibles et soit de calculer *ex-ante* les gains environnementaux générés ou soit de les déterminer *ex-post*. Si la méthode *ex-ante* peut surestimer les gains, la méthode *ex-post* est particulièrement coûteuse. Nous privilégierions donc la première méthode.

5. Conclusion

Nous avons identifié un problème majeur dans la transition écologique qui est la pollution numérique et nous avons proposé un instrument pour modifier les comportements tant des utilisateurs que des entreprises. La présentation rapide des récentes initiatives de régulation de ces impacts a montré l'intérêt de les considérer comme différents aspects d'un même problème. À l'inverse des mesures existantes pour limiter les impacts environnementaux du numérique, qui les traitent séparément, les certificats de sobriété numérique visent les différentes sources et formes de la pollution numérique. Comme pour les certificats d'efficacité numérique, leur efficacité repose sur la meilleure information sur les pratiques des consommateurs, les coûts et les enjeux techniques dont disposent les grands acteurs du numérique par rapport au régulateur.

L'impact de ces certificats est difficile à estimer. Au-delà des enjeux méthodologiques de quantification environnementale, il dépend du périmètre, des obligés et de la métrique choisie par le régulateur. Cet impact passe par les actions de sobriété numérique réalisées par les obligés et les éligibles, qui peuvent prendre différentes formes selon la métrique. Très flexible, cet instrument peut cibler la consommation d'énergie ou de données, ou bien l'externalité environnementale qui en résulte, comme les émissions de CO₂ ou la pollution des eaux et des sols. Les certificats sont adaptables aux priorités environnementales du régulateur. Ils pourraient par exemple être définis en fonction d'un objectif quantifié de réduction d'émission de CO₂ du secteur numérique et des efforts attendus par obligés.

Cette flexibilité faciliterait l'adoption de cet instrument, mais les modalités de mise en place restent à approfondir. Cibler dans un premier temps les émissions de CO₂ permettrait d'aligner le secteur du numérique sur les objectifs de respect des Accords de Paris de la France et de l'Europe. Plusieurs grands acteurs du numérique, comme les GAFAM, cherchant déjà à réduire leur empreinte carbone, ces certificats ne seraient pas perçus comme trop contraignants. À plus long terme, les objectifs de réduction d'émissions dans ce secteur pourraient être augmentés et d'autres enjeux environnementaux du numérique, comme la pollution des eaux et des sols ou encore l'épuisement des réserves abiotiques, pourraient être inclus dans ces certificats.

Références

- Ademe, 2019, *La face cachée du numérique*.
- Añón Higón D., Gholami R. et Shirazi F., 2017, « ICT and environmental sustainability: A global perspective », *Telematics and Informatics*, n° 34, pp. 85-95.
- Arcep, 2021, *Baromètre de l'interconnexion de données en France*.
- Asadi S., Hussin A. R. C. et Dahlan, H. M., 2017, « Organizational research in the field of Green IT: A systematic literature review from 2007 to 2016 », *Telematics and Informatics*, n° 34, pp. 1191-1249.
- Bohas A., Berthoud F. et Feltin G., 2019, « Norme numérique et Green IT », *Ecoinfo*.
- Bordage F. et GreenIt, 2019, *Empreinte environnementale du numérique mondial*.

Conseil de l'UE, 2021, *Confidentialité des communications électroniques : le Conseil arrête sa position sur des règles en matière de vie privée et de communications électroniques*, Communiqué de presse du Conseil de l'UE, février.

CNNum, 2020, *Feuille de route sur l'environnement et le numérique*.

Dedrick J., 2010, « Green IS: Concepts and Issues for Information Systems Research », *CAIS*, n° 27.

Efoui-Hess M., Geist J-N., 2020, *The Shift Project a-t-il vraiment surestimé l'empreinte carbone de la vidéo ?*, The Shift Project.

Eyre N., Bodineau L. et Pavan M., 2009, *Energy Company Obligations to Save in Italy, the UK and France: What Have We Learnt?*, ECEEE 2009 Summer Study, Act! Innovate ! Deliver ! Reducing energy demand sustainability.

Giraudeau L-G., Bodineau L. et Finon D., 2012, *The Costs and Benefits of White Certificates Schemes*, pp. 179-199.

Giraudeau L-G., Finon D., 2014, « European experiences with white certificate obligations: A critical review of existing evaluations », *Economics of Energy & Environmental Policy*, vol. 4, n° 1, pp. 113-130.

Giraudeau L-G., Glachant M. et Nicolaï J-P., 2020, « Selling and saving energy: energy efficiency obligations in liberalized energy markets », *The Energy Journal*, vol. 41, SI1.

GreenPeace, 2016, *Clicking Clean: Who is Winning the Race to Build a Green Internet?*.

Hankel A. et al., 2018, « A Systematic Literature Review of the Factors of Influence on the Environmental Impact of ICT », *Technologies*, vol. 6, n° 3, septembre.

Hintermann B., 2017, « Market Power in Emission Permit Markets: Theory and Evidence », *Environmental and Resource Economics*, vol. 66, n° 1, pp. 89-112.

IDDRI, FING, WWF et GreenIt, 2018, *Le livre blanc du numérique, Faire de la transition numérique un accélérateur de la transition écologique*.

Marquet K., Combaz J. et Berthoud F., 2019, « *Introduction aux impacts environnementaux du numérique* », Bulletin de la Société Informatique de France, n° 1024, pp. 85-97.

Masanet E. et al., 2020, « Recalibrating global data center energy-use estimates », *Science*, vol. 367, février.

Sénat (Commission de l'aménagement du territoire et du développement durable du Sénat), 2020, *Rapport de la mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique*.

The Shift Project, 2018, *Lean ICT: Pour une sobriété numérique*.

The Shift Project, 2019, *Climat: l'insoutenable usage de la vidéo en ligne*.

The Shift Project, 2020, *Déployer la sobriété numérique*.

The Shift Project, 2021, *Impact environnemental du numérique, tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*.

Tushi B., Sedear D. et Recker J., 2014, *Green It Segment Analysis: An Academic Literature Review*, Twentieth Americas Conference on Information Systems, Savannah.

Verdeccchia R., Ricchiuti F., Hankel A., Lago P. et Procaccianti G., 2017, « Green ICT Research and Challenges in Advances and New Trends in Environmental Informatics » in Wohlgemuth V., Fuchs-Kittowski F. et Wittmann J. (eds.), *Advances and New Trends in Environmental Informatics. Progress in IS*, Springer International Publishing, pp. 37-48.

WeGreenIt et WWF, 2018, *Quelle démarche GreenIt pour les grandes entreprises françaises?*.

Whitehead B., Deborah A., Amip S. et Graeme M., 2014, « Assessing the Environmental Impact of Data Centres Part 1: Background, Energy Use and Metrics », *Building and Environment*, n° 82.

LE BESOIN D'ÉVALUER L'ACTION

L'évaluation au service de l'action pour le climat	253
Alain Quinet	
Changement climatique	275
<i>Passer des coûts de l'inaction aux besoins pour l'action</i>	
Vivian Dépoues	
Investir dans des infrastructures bas-carbone en France	297
<i>Quels impacts macro-économiques</i>	
Alexandre Tourbah, Frédéric Reynès, Meriem Hamdi-Cherif, Jinxue Hu, Gissela Landa et Paul Malliet	
TETE, un outil en libre accès pour estimer les emplois générés par la transition écologique	329
<i>Présentation et application au scénario négaWatt 2022</i>	
Philippe Quirion	

L'ÉVALUATION AU SERVICE DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Alain Quinet

Commission sur la valeur du carbone, Commission de l'économie du développement durable

Le cadre d'évaluation des investissements publics et des politiques a été élaboré bien avant que la lutte contre le changement climatique ne devienne un enjeu de premier rang. L'objet de cet article est de montrer qu'à travers notamment la baisse du taux d'actualisation, l'allongement de l'horizon des scénarios et la hausse de la valeur du carbone, l'évaluation est capable aujourd'hui de bien prendre en compte les impacts climat des projets. Corrélativement, les enjeux redistributifs de la lutte contre le changement climatique sont de mieux en mieux appréhendés. Bien évaluer en amont les effets environnementaux, économiques et sociaux des différentes actions envisagées, c'est augmenter les chances de bien les hiérarchiser et de les déployer dans le bon ordre, en assumant les incertitudes inévitables sur la disponibilité et les coûts des technologies de décarbonation. Au total, l'évaluation n'est pas la stratégie mais elle propose des outils pour atteindre les objectifs stratégiques que l'on se fixe au moindre coût économique et social.

Mots clés : climat, évaluation, investissements publics, réglementations, valeur du carbone.

Le cadre scientifique et politique de la lutte contre le changement climatique s'est aujourd'hui clarifié : les études synthétisées par le GIEC explicitent le risque de dommages graves et irréversibles liés à la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (GIEC 2021) ; les États signataires de l'Accord de Paris de 2016 convergent sur des objectifs de décarbonation complète – le « zéro émissions nettes » (ZEN) – à compter du milieu de ce siècle.

L'Europe peut se targuer de premiers résultats significatifs avec une baisse des émissions de gaz à effet de serre sur son sol de 24 % entre 1990 et 2020. Les programmes pour amplifier l'effort de décarbonation prennent corps avec le *Green Deal* présenté par la Commission européenne en juillet 2021 et son plan d'action *Fit for 55*. Cependant, il reste beaucoup à faire pour tracer les chemins d'une transition efficace et juste vers « ZEN » : il faut préciser le périmètre et le contenu des actions utiles, les déployer dans le bon ordre en fonction de leur coût et de leur degré de maturité, calibrer les incitations permettant de les mettre en œuvre.

Les ressources mobilisables pour accélérer cet effort sont par essence limitées. Nous ne sommes pas seulement limités par nos ressources financières. Nous sommes limités par nos connaissances scientifiques, nos capacités industrielles, le renchérissement des matières premières, le foncier disponible. C'est le rôle de l'évaluation d'aider les politiques publiques et l'ensemble de la société à définir le meilleur usage de ces ressources. La France est, depuis le XIX^e siècle et les travaux fondateurs de Jules Dupuit (1844) l'une des terres d'élection de l'évaluation socio-économique. Plusieurs générations d'ingénieurs-économistes ont construit un dispositif d'évaluation adoptant la conception la plus large possible des impacts d'un investissement ou d'un programme sur le bien-être collectif.

L'évaluation des politiques publiques est aujourd'hui reconnue comme utile et nécessaire. Pour autant, sa mise en œuvre reste partielle : elle est régulièrement pratiquée pour les projets d'investissement publics mais peu pour d'autres actions publiques reposant sur l'usage de subventions, de taxe ou de normes. Elle peut aussi susciter des réactions de scepticisme lorsqu'elle monétarise des gains et des coûts environnementaux.

Sans prétendre que les outils d'évaluation aujourd'hui disponibles soient parfaits, loin de là, cet article s'attache à montrer comment l'évaluation peut aujourd'hui aider l'ensemble des acteurs de la société à dessiner les chemins efficaces et justes de la décarbonation¹. C'est bien parce qu'il faut atteindre en peu de temps un objectif très ambitieux, avec des ressources humaines, industrielles, financières nécessairement limitées, que l'évaluation est indispensable : ne pas

1. Le mot décarbonation vise ici la réduction de l'ensemble des gaz à effet de serre. La formule CO₂ vise le seul carbone, la formule CO₂_e l'ensemble des gaz à effet de serre.

faire « fausse route » dans les choix technologiques, agir selon l'ordre de mérite des actions possibles, bien calibrer les incitations sont les meilleures garanties de succès (1). Le dispositif d'évaluation s'adapte pour prendre pleinement en compte les spécificités de la lutte contre le changement climatique : un horizon d'évaluation plus long, un taux d'actualisation plus bas, une trajectoire de valeur carbone revue en hausse (2). Historiquement élaborée pour évaluer la contribution nette d'un projet au bien-être collectif, elle doit aujourd'hui intégrer de manière plus fine les coûts implicites et les effets redistributifs des mesures de lutte contre le changement climatique (3).

1. L'évaluation, entre urgence et long terme

Avec l'accord de Paris de 2016, adopté sur la base des travaux du GIEC, l'évaluation peut s'adosser à des objectifs de décarbonisation clairs, mesurables, démocratiquement définis au niveau international comme au niveau national. L'évaluation dont il est question ici relève ainsi d'une logique coûts-efficacité. Elle vise à répondre à la question : comment atteindre au moindre coût économique et social l'objectif « ZEN » ? Cette approche coûts-efficacité se distingue d'une approche coûts-avantages consistant à mettre en regard des coûts de chaque action une mesure de la valeur des dommages évités. Cette dernière, mise en valeur dans le rapport Stern (2006) est plus ambitieuse mais aussi méthodologiquement plus fragile et sujette à controverses puisqu'elle suppose de pouvoir valoriser monétairement les dommages présents et futurs que les actions envisagées permettent d'éviter.

1.1. Le nouveau cahier des charges de l'évaluation

L'objectif « ZEN » à l'horizon 2050 change radicalement le cahier des charges de la stratégie à conduire et de l'évaluation qui doit la sous-tendre :

- Le monde passe d'une logique de réduction progressive des émissions de gaz à effet de serre, au fur et à mesure de l'arrivée à maturité des technologies vertes, à une logique de décarbonation totale des activités humaines. L'enjeu est désormais de gérer un budget carbone en voie d'épuisement – c'est-à-dire un stock maximal d'émissions cumulées de CO₂ que le monde ne doit pas dépasser pour limiter le réchauffement climatique global en dessous d'une certaine température. Le budget carbone de 2022

est estimé à 1 270 GtCO₂ pour maintenir le réchauffement climatique global en dessous de 2°C à la fin du siècle. Il était de 3 745 GtCO₂ en 1750, ce qui signifie que nous avons déjà consommé plus de 65 % de ce budget. Le budget carbone pour maintenir le réchauffement global en dessous de 1,5°C, évalué à 420 GtCO₂ est lui trois fois plus faible que le budget 2° (Global Carbon Project, 2021) ;

- Il faut aller chercher toutes les sources de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES), au-delà de la seule décarbonation de l'électricité, y compris dans les domaines où les alternatives décarbonées ne sont pas matures. Les secteurs du logement, des transports et de l'agriculture – les trois principales sources d'émissions de GES – devront engager des transformations profondes ;
- Il faut à la fois inciter à des usages plus sobres et verdir les actifs. Sauf à déclasser massivement une grande partie des actifs existants, cette décarbonation ne peut se faire que sur une base économique raisonnable, tenant compte d'un côté de la durée d'amortissement des équipements et bâtiments en place, de l'autre des gains climat de long terme des nouveaux investissements, y compris leur valeur résiduelle au-delà de 2050, date cible de l'objectif « ZEN ».

1.2. Concilier urgence et évaluation

Le cadre de la transition doit se décliner en actions opérationnelles : quelles actions concrètes choisit-on de soutenir et d'encourager ? quels investissements publics faut-il engager ? Et comment ces actions et investissements doivent-ils s'ordonnancer dans le temps ? Savoir qu'il faut désormais s'attaquer sur un front large à toutes les sources d'émissions ne signifie pas qu'il faille chercher à tout faire en même temps. Les actions utiles à la transition doivent être soigneusement sélectionnées, dimensionnées et séquencées dans le temps pour minimiser l'effort initial et le rendre acceptable.

L'évaluation est d'autant plus cruciale que la transition s'appuie sur des instruments non tarifaires. Dans un monde où le prix du carbone aurait vocation à constituer l'instrument de référence de la lutte contre le changement climatique, il suffirait de le fixer à un niveau suffisamment « élevé » et de s'en remettre aux choix décentralisés des ménages et des entreprises pour sélectionner les « bonnes actions ». Mais la réalité s'écarte de ce modèle simple, pour des raisons qui tiennent à

l'acceptabilité de la tarification mais aussi à la coexistence de plusieurs défaillances de marché :

- L'externalité environnementale car en l'absence de toute régulation, les émissions de GES ne sont pas spontanément prises en compte dans les choix de production, d'investissement et de consommation ;
- L'insuffisance de R&D privée, dans la mesure où tous les effets bénéfiques d'une innovation ne sont pas appropriables par les innovateurs. Dans le domaine de l'environnement l'innovation est de plus marquée par une forte inertie, les entreprises en place, dont le modèle est historiquement fondé sur les énergies fossiles ayant une propension naturelle à innover de manière incrémentale dans leurs domaines d'excellence plutôt qu'à se lancer dans des innovations de rupture (Aghion *et al.*, 2019) ;
- Les externalités de réseau car il faut déployer simultanément les infrastructures et les services – les bornes de recharge et les véhicules électriques, les lignes de chemin de fer et les trains, les énergies renouvelables et l'adaptation du réseau de transport d'électricité ;
- Les effets redistributifs non désirés, liés à la fois à l'hétérogénéité des coûts d'abattement et à la structure de consommation des ménages. Ces effets ont une dimension « verticale » : la part des énergies fossiles dans le budget des ménages décroît au fur et à mesure que le revenu augmente. Ils sont aussi une dimension « horizontale » : les effets redistributifs ne dépendent pas seulement du revenu mais aussi de la localisation des ménages (en zone urbaine ou rurale), de l'usage du véhicule (pour le trajet domicile-travail ou non) et du type de logement ;
- Les effets d'habitude, voire d'addiction. Il est financièrement et écologiquement intéressant d'abattre une tonne de CO₂e en réduisant sa consommation de viande, en baissant son chauffage ou en réduisant l'usage de la voiture en ville. Pour autant ce gain financier peut masquer la perte d'utilité qu'induit, au moins dans un premier temps, ce choix de sobriété².

2. Inversement des actions peuvent être financièrement coûteuses mais générer un coût d'abattement socio-économique négatif si les co-bénéfices pour la société sont importants. Ce peut être le cas d'une ligne à grande vitesse qui génère d'importants co-bénéfices de gains de temps ou d'une mesure de réduction de la pollution qui génère des co-bénéfices en termes de santé publique.

À l'aune de ces différentes défaillances, l'évaluation permet à minima de faire ressortir deux enjeux fondamentaux dans le *design* des politiques climatiques : celui de l'hétérogénéité des coûts d'abattement et celui des effets redistributifs.

1.3. Évaluer pour minimiser le coût économique et social de la transition

L'évaluation est d'autant plus cruciale que les coûts des différentes actions possibles sont hétérogènes. Entre les actions à mener tout de suite (les grappes de « fruits murs ») et celles qui nécessitent encore de l'innovation, existe toute une « zone grise » d'actions possibles reposant sur des technologies matures mais coûteuses (par exemple l'isolation thermique des bâtiments), ou sur des technologies non matures mais dont les coûts pourraient baisser rapidement sous les effets d'échelle et d'apprentissage (par exemple la mobilité électrique). Dans certains domaines les technologies sont encore en développement (par exemple la capture et le stockage du carbone, l'hydrogène) ou n'existent pas (dans la chimie, l'acier, le ciment, l'aviation).

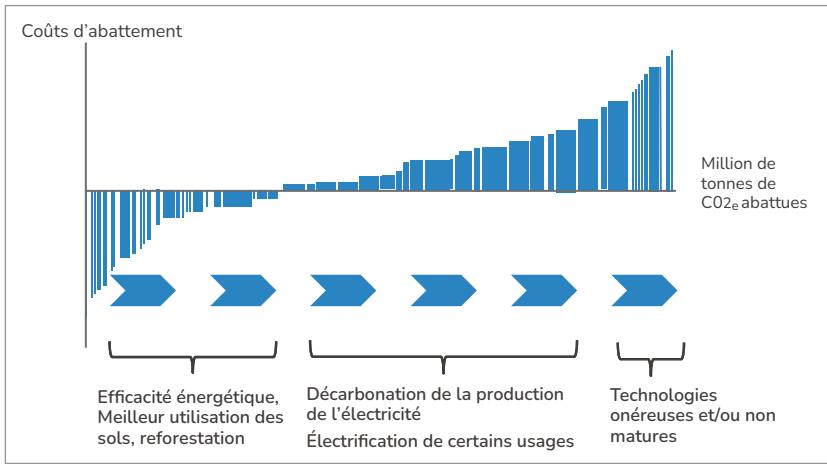
L'évaluation permet de définir le portefeuille d'actions pertinentes dans cette vaste « zone grise » en se fondant sur l'évaluation de leur coût socio-économique d'abattement, *i.e.* l'écart de coût actualisé entre l'action de décarbonation et la solution de référence carbonée équivalente, rapporté aux émissions de GES évitées par l'action. Le coût d'abattement intègre l'investissement initial mais aussi les coûts liés à l'usage de l'équipement mis en service. Il est calculé net des possibles co-bénéfices de l'action pour la société (par exemple l'amélioration de la santé permise par une réduction des pollutions locales ou une meilleure alimentation). Le graphique 1 illustre une courbe schématique de coûts d'abattement.

Traditionnellement l'évaluation socio-économique privilégie une approche utilitariste, consistant à évaluer l'effet d'une action sur le surplus social en sommant son impact sur l'utilité des différents individus composant la société. Cette approche a deux raisons d'être :

- La première est qu'elle a été historiquement conçue pour l'évaluation des projets d'investissements publics – typiquement des infrastructures de transport – lesquels font potentiellement un nombre élevé de « gagnants » et très peu de perdants ;
- La seconde est qu'à partir du moment où le projet génère un gain net pour la collectivité, il est toujours possible de dédommager les

perdants – par exemple les propriétaires qui ont été expropriés pour rendre possible la réalisation de l'infrastructure ou les riverains victimes de nuisances locales.

Graphique 1. La courbe schématique des coûts d'abattement

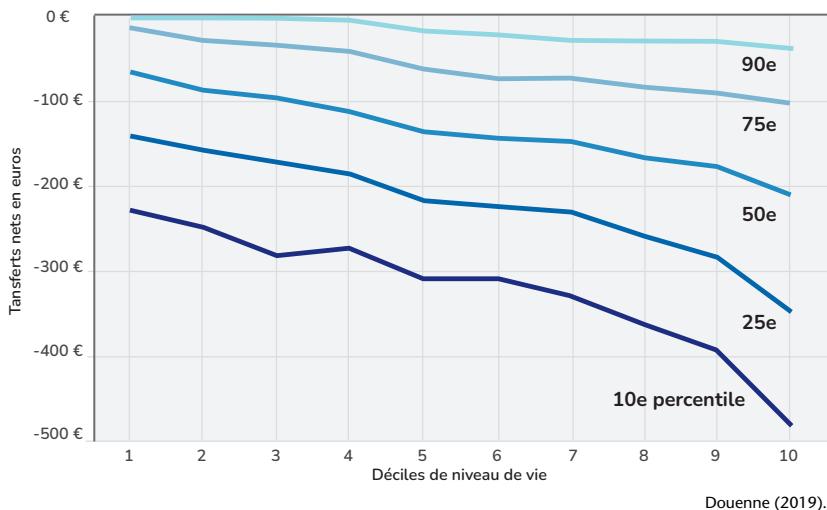


La lutte contre le changement climatique ne permet pas de se fonder sur des hypothèses aussi confortables pour une raison fondamentale : elle vise en effet à remplacer des énergies fossiles abondantes et peu chères par des solutions généralement plus coûteuses au départ. Dans la mesure où les gains sont éloignés dans le temps, c'est dans l'immédiat un coût de transition qu'il faut se répartir.

La crise des « gilets jaunes » en France a bien illustré les limites d'initiatives politiques fondées sur la seule évaluation des gains globaux d'une tarification du carbone sans prise en compte des effets distributifs. Ces effets distributifs avaient pourtant été clairement mis en évidence auparavant dans les précédents projets de taxe carbone, comme en témoigne le rapport Rocard (2009) montrant clairement l'importance et la complexité des effets redistributifs d'une taxe carbone. Les simulations réalisées récemment (Douenne 2019), portant sur le projet à l'origine du mouvement des « gilets jaunes » (une augmentation du prix du carbone de 44,6 euros/tCO₂ à 86,20 euros/tCO₂, complétées par une hausse supplémentaire de la fiscalité du diesel en vue du rattrapage avec l'essence), montrent par exemple que si plus de 10 % des ménages du premier décile ne

devaient pas être impactés par la réforme – car ne disposant pas de voiture et n'utilisant ni gaz ni fioul dans leur logement – pour 10 % d'entre eux les pertes excédaient 220 euros par an et par unité de consommation, soit davantage que celles du ménage médian du dernier décile (graphique 2).

Graphique 2. Effets redistributifs verticaux et horizontaux de la tarification du carbone



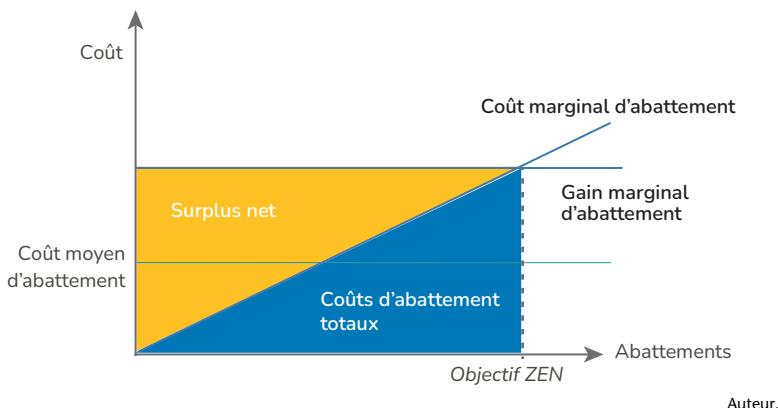
1.4. Les enjeux macroéconomiques de la transition

On peut illustrer l'enjeu macroéconomique d'un bon calibrage et d'un bon calendrier à partir de graphiques simples et de simulations plus élaborées.

Le graphique 3 illustre le cas idéal où la logique de l'ordre de mérite est bien appliquée pour sélectionner les actions. La collectivité réalise des réductions d'émissions pour atteindre l'objectif « ZEN » en mobilisant les actions les moins coûteuses. Le coût total de mise en œuvre est l'aire en bleu. Ce graphique simplifié fait immédiatement ressortir deux conclusions :

- Le coût moyen d'abattement est de moitié inférieur au coût marginal au voisinage de l'objectif « ZEN » ;
- Le surplus net que la collectivité retire de la décarbonation est au moins égal au coût d'abattement³.

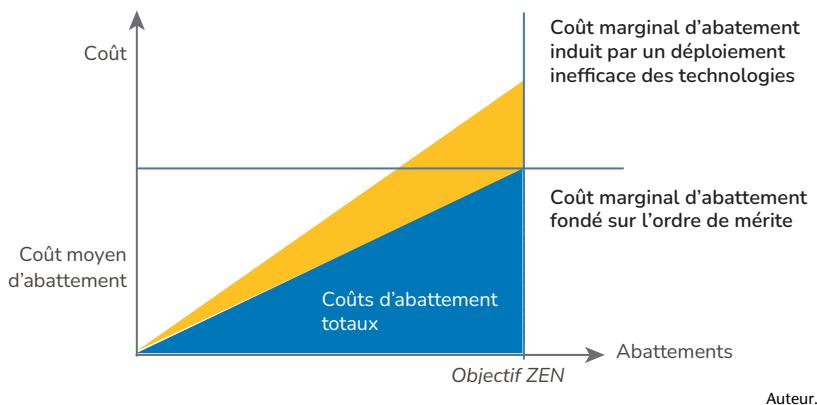
Graphique 3. La valeur d'un alignement des actions de décarbonation sur l'ordre de mérite



Auteur.

Le graphique 4 illustre en revanche le cas où les actions de décarbonation ne seraient pas déclenchées par ordre de mérite. Le coût total d'abattement est bien plus élevé que dans le cas précédent tandis que le surplus net se réduit. Pour un même volume d'abattement A, le coût marginal et le coût moyen des actions de décarbonation effectivement réalisées sont plus élevés, le surplus net est plus faible.

Graphique 4. La perte de valeur induite par des coûts d'abattement inefficaces



Auteur.

3. Il apparaîtrait bien supérieur si l'on traçait une courbe décroissante des bénéfices marginaux de l'abattement.

L'enjeu macroéconomique d'une transition ordonnée peut être éclairé par le rapport Blanchard-Tirole (2021) et les travaux de modélisation de la Banque de France (Allen *et al.*, 2020).

À l'horizon 2030, en se fondant sur un coût d'abattement de 250€/tonne, le récent rapport Blanchard-Tirole (2021) estime que le niveau d'effort global atteindrait 1,1% du PIB français de 2030. Les 120 Mt de CO₂e à retirer pour atteindre la cible de 2030, évalués à un prix de 250€ la tonne de CO₂e, représentent en effet un coût annuel de 30 milliards d'euros en 2030. Ce coût reste contenu et inférieur aux bénéfices futurs.

À l'horizon 2050, la Banque de France (Allen *et al.*, 2020) évalue le coût macroéconomique de la transition en prenant comme référence un scénario de transition ordonnée, dans lequel les actions se déploient suffisamment tôt, et dans le bon ordre, pour parvenir à l'atteinte de l'objectif 2°C. Des scénarios de retard ou de transition désordonnée comportent des coûts macroéconomiques significatifs pour l'Europe :

- Un scénario d'actions retardées, caractérisé par un relèvement tardif et brutal de la tarification du carbone post-2030, ne permettrait pas d'atteindre l'objectif, tout en impliquant des pertes de PIB de 2 % par rapport au scénario ordonné à l'horizon 2050 ;
- Un scénario de transition désordonnée impliquerait une forte hausse du prix de l'énergie et une baisse de productivité induits par le déploiement prématûr de technologies non matures. Ce scénario permettrait bien d'atteindre l'objectif climatique mais au prix d'une perte de PIB européen de l'ordre de 6 points à l'horizon 2050.

Tableau 1. Les coûts d'ajustement macroéconomiques de la transition à l'horizon 2050 (PIB de l'Union européenne)

	Atteinte de l'objectif 2°C	Non-respect de l'objectif
Transition ordonnée	Référence	-2 % du PIB
Transition désordonnée	-6 % du PIB	ns

Allen *et al.*, 2020.

Ces évaluations se concentrent sur les seuls coûts de la transition pour atteindre efficacement un objectif donné. Une approche coûts-avantages complète devrait bien entendu mettre en regard des coûts les bénéfices (les dommages évités) de la lutte contre le changement climatique.

2. Le « verdissement » des cadres d'évaluation

L'évaluation des impacts carbone des projets et des actions d'atténuation du changement climatique requiert la définition d'un référentiel socio-économique intégrant l'élaboration de scénarios de référence, un horizon d'évaluation et un taux d'actualisation ainsi qu'une trajectoire de valeur tutélaire du carbone.

2.1. L'évaluation environnementale étendue

La valeur du carbone est la valeur centrale d'un dispositif d'évaluation des politiques climatiques. Cette valeur du carbone est qualifiée de « tutélaire » car elle n'est pas déterminée sur un marché⁴ mais définie de manière régaliennne, en référence à l'objectif « ZEN ». Elle monétarise la perte de bien-être monétaire immédiat que la société doit être prête à consentir pour réduire une tonne de CO₂e en vue d'atteindre l'objectif « ZEN ». La valeur carbone ainsi calculée ne représente pas la mise en place de politiques de tarification explicite du carbone mais un ensemble de politiques dont le niveau total de contrainte est reflété par ce prix

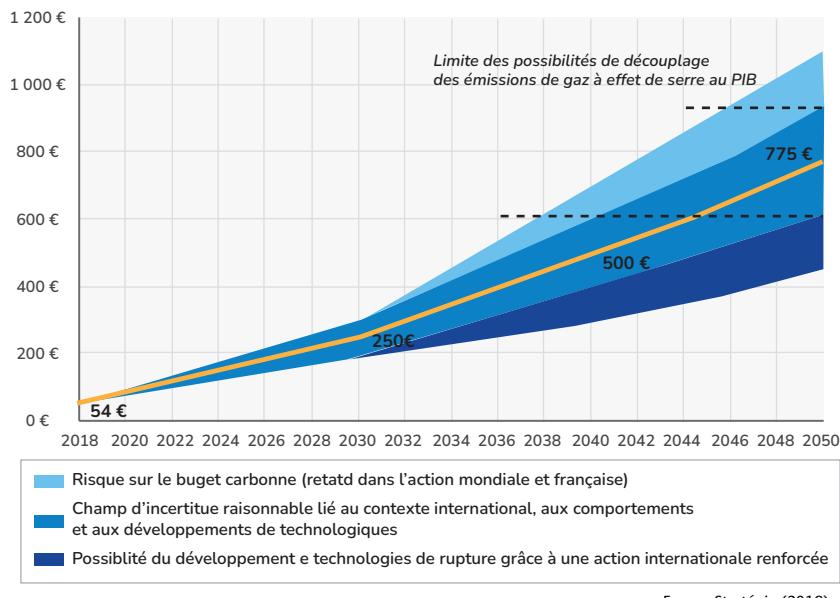
En France, les travaux de France Stratégie (2019) ont permis l'élaboration de la trajectoire de valeurs carbone présentée dans le graphique 5 ci-dessous. Les valeurs sont élevées (250€ à horizon 2030, 776€ à horizon 2050), reflétant le niveau d'ambition et l'ampleur du chemin à parcourir. En d'autres termes, même s'il existe un potentiel important d'abattement à faible coût d'ores et déjà disponibles, le coût marginal des technologies permettant en fin de période d'atteindre la neutralité est élevé :

- La valeur du carbone croît dans le temps à un rythme qui à compter de 2040 s'aligne sur le taux d'actualisation public. Cette pente ascendante est le pendant du caractère épuisable du budget carbone à notre disposition. Une gestion prudente de cette « ressource » conduit à un renchérissement progressif de sa valeur au rythme du taux d'intérêt – conformément à la règle de Hotelling (1931) ;
- Cette trajectoire assure le respect de l'objectif final mais sans prétendre définir totalement le rythme opérationnel de la

4. Le marché de quotas européens ne couvre en effet qu'une petite moitié des émissions européennes de gaz à effet de serre et ne se projette pas sur un horizon de long terme et un objectif « ZEN ».

décarbonation. Il est nécessaire en effet de tenir compte des contraintes temporelles qui pèsent sur le déploiement des investissements de décarbonation qu'il s'agisse de l'installation de bornes de recharges pour véhicules électriques, de la rénovation du parc de logements ou de la construction de nouvelles lignes de chemin de fer.

Graphique 5. Trajectoire de valeur carbone calée sur l'objectif ZEN

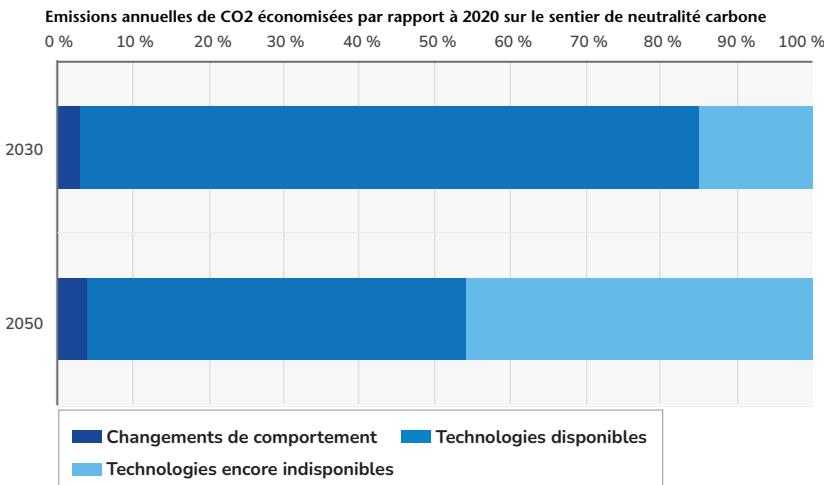


France Stratégie (2019).

Les incertitudes qui entourent à la fois la disponibilité et le coût des technologies futures sont naturellement très fortes, ce qu'illustre l'élargissement de la fourchette entourant la trajectoire de référence au fur et à mesure que l'horizon s'allonge. Selon l'AIE (2021), plus de la moitié des technologies nécessaires à l'atteinte de la neutralité carbone à horizon 2050 sont aujourd'hui non matures, voire inconnues (graphique 6).

Au-delà de la valeur carbone, point d'ancre des politiques climatiques, c'est l'ensemble du cadre de l'analyse socioéconomique qui prend désormais pleinement en compte les enjeux climatiques des projets :

Graphique 6. Incertitudes sur la disponibilité des technologies de décarbonation



AIE (2021).

- L'horizon d'évaluation des projets d'investissements a été allongé jusqu'en 2140 pour mieux prendre en compte leurs effets structurants de long terme, voire de très long terme ;
- Le taux d'actualisation a baissé, donnant plus de poids aux bénéfices de long terme des actions engagées. Les rapports Lebègue (2008) et Gollier (2011) ont précisé les rôles respectifs des taux sans risque, de la prime de risque et de la structure par terme des taux ;
- La règle de Hotelling aligne la progression de la valeur carbone de long terme sur le taux d'actualisation public, évitant ainsi que celle-ci soit écrasée par la valeur du temps.

3. La mise en œuvre du référentiel dans les secteurs à émissions diffuses

Le référentiel d'évaluation peut être utilisé soit pour contribuer à un calcul de valeur actuelle nette (VAN) socio-économique (valeur totale créée par un investissement pour la collectivité), soit pour comparer les coûts d'abattement socio-économique à la valeur carbone. Quelques illustrations portant sur les secteurs à émissions diffuses (transport et logement) permettent de faire ressortir l'intérêt opérationnel des évaluations.

3.1. L'évaluation des investissements publics : le cas des lignes à grande vitesse

L'exemple de la ligne à grande vitesse (LGV) Atlantique (280 km) réalisée en 1989, pour un coût d'investissement de 3 milliards d'euros, permet d'illustrer l'importance des changements intervenus dans l'évaluation environnementale des projets. Dans ce type de projets, il faut estimer les gains climat mais aussi les co-bénéfices – en l'occurrence un gain de temps d'une heure entre Paris et Tours, Rennes, Bordeaux.

Comme le montre le tableau 2 ci-dessous, le rapport Boiteux (2001) retenait une période d'évaluation de 50 ans, un taux d'actualisation très élevé (8 %), une valeur carbone relativement faible (58€ en 2030 et 104€ en 2050) dont le taux de croissance de 3 % restait sensiblement inférieure au taux d'actualisation de 8 %. Sous ces hypothèses les gains climat générés par une LGV restaient faibles, de l'ordre de 3 % de l'investissement, l'immense majorité des gains étant attribuables au temps gagné – le principal co-bénéfice des LGV. Ils se sont nettement accrus au fil des évaluations, passant de 3 % dans le rapport Boiteux (2001) à 5,5 % avec les paramètres de 2008 et à près de 20 % avec les paramètres de 2019. Le dispositif actuel d'évaluation prend donc pleinement en compte les enjeux de long terme, au-delà de 2050.

Tableau 2. La revalorisation des gains climat des projets

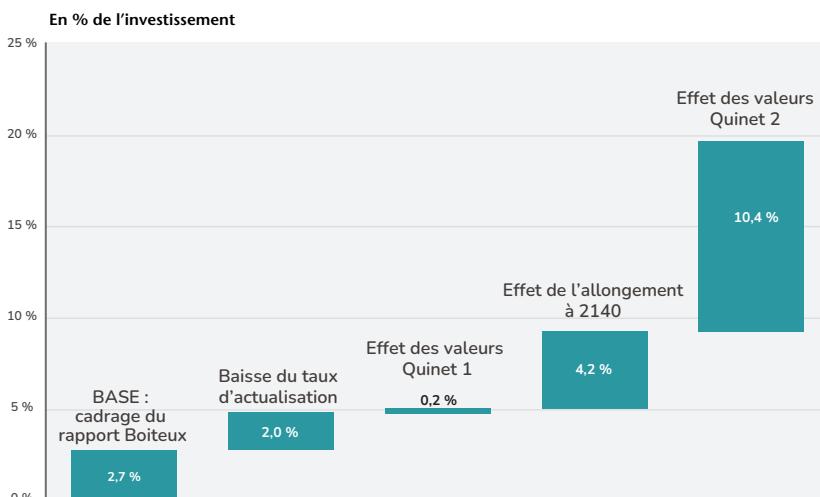
	2001	2008	2019
Valeur Carbone en €/tCO₂			
En 2010	32	32	32
En 2030	58	100	250
En 2050	104	180	775
Taux d'actualisation (sans risque depuis 2008)	8 %	4 %	4,5 %
Période d'évaluation	50 ans	50 ans	Jusqu'en 2140
Taux de croissance de la valeur carbone	3 %	4 %	4,5 % jusqu'en 2060 constant par la suite
Gain climat en % de l'investissement	2,7 %	5,5 %	19,6 %

Calculs de l'auteur fondés sur les rapports Boiteux (2001), Gollier (2011) Lebègue (2008), Quinet (2008) et Quinet (2019).

Si l'on calcule les contributions des différents facteurs, en procédant dans l'ordre dans lequel les changements de paramètre ont été effectués, le graphique 7 montre que l'allongement de la période

d'évaluation, conjugué à une revalorisation des valeurs du carbone à long terme ont joué un rôle prépondérant dans l'augmentation du poids des gains climat.

Graphique 7. Contributions à la réévaluation des gains climat



Calculs de l'auteur fondés sur les rapports Boiteux (2001), Gollier (2011) Lebègue (2008), Quinet (2008) et Quinet (2019).

L'objectif « ZEN » soulève un nouvel enjeu en termes de scénario de référence. Lors de l'évaluation socio-économique de la LGV Atlantique, le transport par rail était comparé à des modes de transport « structurellement » carbonés (la voiture et l'avion). La question nouvelle est celle du scénario de référence à prendre en compte, compte tenu de la perspective désormais ouverte d'une décarbonation partielle ou totale de la route et du transport aérien. Aujourd'hui, les évaluations socio-économiques recommandent de prendre deux hypothèses, l'une prudente et l'autre plus volontariste. Celles présentées dans le tableau 2 ci-dessus font l'hypothèse prudente d'une décarbonation lente de la route et de l'aérien.

3.2. L'évaluation des actions de lutte contre le changement climatique : le cas de la mobilité électrique

La valeur du carbone délimite le domaine des actions utiles et efficaces en termes de décarbonation : elle permet à la collectivité d'identifier le portefeuille des actions de décarbonisation dont le coût d'abattement est inférieur à cette valeur.

Si la valeur du carbone croît comme le taux d'actualisation socioéconomique, une action sectorielle de décarbonation est rentable socioéconomiquement dès lors que son coût d'abattement est inférieur à la valeur du carbone l'année de l'investissement. Une action plus coûteuse induit en première approche un surcoût par rapport à un chemin efficace. Comme l'illustre le graphique 1 précédent, la valeur carbone de référence permet de tracer une frontière entre actions rentables et non rentables.

Un travail systématique d'analyse des coûts d'abattement par secteur a été entrepris par France Stratégie (Criqui, 2021). Le tableau 3 ci-dessous permet ainsi de comparer les coûts des différentes options du déploiement du véhicule électrique à la valeur du carbone issue du rapport Quinet (2019). Cette évaluation montre qu'aucun véhicule ne présente aujourd'hui un coût d'abattement inférieur à la valeur carbone. Mais la situation évolue dans le temps et les coûts d'abattement deviennent inférieurs à la valeur carbone dès 2025 pour la citadine électrique (si le prix du carburant est élevé), en 2030 pour la berline électrique. Pour la berline hydrogène, en revanche, il n'y a pas de perspective de rentabilité avant 2040.

Tableau 3. Coût d'abattement socio-économique des véhicules décarbonés

Euros par tonne de CO ₂ abattue	2020	2030
Citadine électrique	332	137
Berline électrique	413	199-252
Véhicule hydrogène	1 025	749-934

Rapport Criqui (2021).

Les technologies émergentes, comme le recours à l'hydrogène vert ou la capture et la séquestration du carbone, nécessitent un traitement particulier. Ce n'est pas parce que leurs coûts sont trop élevés aujourd'hui au regard de la valeur du carbone qu'il faut les écarter d'emblée. L'évaluation économique doit se fonder sur une analyse dynamique des coûts d'abattement, en s'appuyant notamment sur les rapports *Energy Technology Perspectives* régulièrement publiés par l'Agence internationale de l'énergie. L'évaluation prospective doit alors apporter des éléments de réponse aux deux questions suivantes :

- Pour les technologies déployables, les coûts d'abattement sont-ils amenés à baisser tendanciellement sous l'effet des économies d'échelle et d'apprentissage, comme on l'a vu récemment sur les

énergies renouvelables et comme on commence à le voir sur les véhicules électriques ?

- Pour les technologies encore en phase de R&D, les perspectives permettent-elles d'envisager raisonnablement que leur coût baissera sous la valeur carbone ? Les coûts de R&D sont alors à intégrer dans le coût d'abattement, en leur affectant une probabilité de réussite.

3.3. L'évaluation des mesures : les cas du véhicule individuel et du logement

Des mesures publiques sont généralement nécessaires pour rapprocher les valeurs privées des actions de décarbonation de leur valeur pour la collectivité : un investissement public permet de déployer une nouvelle infrastructure bas carbone, une réglementation rend une action obligatoire, une taxe sur les émissions de CO₂ améliore la compétitivité de la technologie décarbonée, une subvention contribue à financer l'acquisition de cette technologie, une garantie permet de partager les risques de développement d'une innovation.

L'évaluation permet, une fois les actions sélectionnées, de bien calibrer les mesures de soutien. Une mesure est bien calibrée si son taux explicite (de tarification) ou son coût implicite est en ligne avec la valeur de référence du carbone. Les bilans disponibles, aux États-Unis comme en Europe, aboutissent très généralement à deux conclusions :

- Les taux de tarification du carbone en vigueur sont très inférieurs à la valeur de référence du carbone – ce qu'illustrent notamment les *carbon pricing gap* de l'OCDE (OCDE, 2018) ;
- Les coûts implicites (par tonne de CO₂ évitée) des normes et des subventions sont très hétérogènes et parfois très élevés. Aux États-Unis, Gillingham *et al.* (2018) montrent ainsi que les coûts d'abattement implicites aux différentes réglementations et subventions américaines s'étagent entre 10 et 1 000 dollars la tonne de CO₂ évitée. Cette hétérogénéité est très importante d'une action à l'autre mais aussi au sein d'une même action – par exemple le soutien aux énergies renouvelables – à raison d'un calibrage plus ou pertinent des mesures de soutien. En Europe et en France, même si l'on ne dispose pas d'une synthèse équivalente, les évaluations dispositif par dispositif pointent une hétérogénéité équivalente. Fridstrom (2021), par exemple, montre que le coût implicite de la tonne de CO₂ des réductions des taxes sur l'achat et la possession (vignette annuelle) de véhicules électriques

s'élèverait en Norvège à un minimum de 1 370 euros la tonne de CO₂_e évitée. Au niveau européen, le coût des normes d'émission en vigueur (gr de CO₂_e/km) conduirait à un coût implicite de 390 euros la tonne.

L'évaluation du coût à la tonne de CO₂_e évitée des mesures est un exercice rendu souvent exigeant par le cumul, pour un usage donné (utilisation d'une voiture, d'un chauffage, d'une installation industrielle ou agricole, etc.) d'un grand nombre d'initiatives incitant à la décarbonation. Ce cumul peut être justifié : il faut à court terme réguler l'usage des actifs polluants et dans une perspective de plus long terme « verdir » les actifs, innover pour les remplacer par de nouveaux actifs non polluants. Par exemple, pour réduire les émissions des véhicules particuliers, se combinent des mesures régulant les usages des véhicules thermiques (fiscalité carbone, restriction de circulation en ville) et des mesures visant à favoriser les véhicules moins polluants (normes d'efficacité énergétique et de pollution, bonus-malus sur l'acquisition des véhicules, prime à l'achat de véhicules électriques...). Cette accumulation peut être justifiée. Encore faut-il se doter d'une vue agrégée, qu'il faut construire avec une méthodologie rigoureuse, fondée sur des simulations, car il n'est pas pertinent de se contenter d'additionner les mesures :

- Les tarifications explicites du carbone (taxes, prix des quotas) ne s'additionnent aux subventions que sous des conditions très restrictives (Baumol et Oates, 1988). En effet, les subventions ne portent en pratique que sur les choix d'investissement et sont ciblées sur certaines technologies, alors que la tarification porte sur les usages. De même les tarifications explicites et le prix implicite des normes ne s'additionnent pas, le signal-prix explicite portant sur les émissions résiduelles après mise en place de la réglementation ;
- Les normes peuvent générer des effets rebond – ceux-ci étant très importants dans le domaine de la mobilité individuelle et du chauffage individuel. Des normes d'efficacité énergétique incitent les utilisateurs à acheter des véhicules plus puissants et à les utiliser plus longtemps ; un gain d'efficacité énergétique dans un logement incite à se chauffer davantage (avec à la clé un réel gain de bien-être si la sobriété antérieure était « subie »). Ces effets rebond sont, au regard des différentes études disponibles, compris entre 10 et 30 % ;

- Il en va de même pour les subventions. Le bonus-malus automobile a certes contribué à améliorer la qualité du parc mais, il a aussi soutenu les achats d'automobile, contribué à une extension du parc et finalement conduit à une augmentation des émissions de carbone (d'Hautefeuille *et al.*, 2014) ;
- Les mesures peuvent dans certains cas être complémentaires – c'est souvent le cas du « couple » normes et tarification. Elles peuvent aussi être substituables. Un exemple classique de substituabilité concerne l'impact de la politique de soutien aux énergies renouvelables sur le marché européen du carbone ETS : les subventions aux renouvelables ont augmenté l'offre d'énergie et – à offre de permis donnée – contribué à l'effondrement des prix de l'ETS. Cet effet dit « d'édredon » a été corrigé pour une large part depuis 2018, mais le risque perdure en l'absence de prix plancher sur le marché ETS.

Le bon calibrage des instruments appelle également, au-delà de la bonne agrégation des mesures, une analyse fine de leurs effets redistributifs. Ceux qui sont cachés méritent d'être explicités :

- La tarification du carbone peut induire des effets redistributifs non désirés de grande taille qui doivent être évalués pour pouvoir construire les mécanismes de compensation les mieux ciblés. Les évaluations montrent aussi que le recyclage forfaitaire des recettes permet de compenser intégralement les pertes de pouvoir d'achat des ménages à faibles revenus (Douenne, 2019 ; Bureau *et al.*, 2019) ;
- Les réglementations ont des effets redistributifs cachés et plus difficiles à discerner que ceux de la tarification mais qui peuvent être aussi importants. Jacobsen (2013), par exemple, montre que les normes imposant aux constructeurs automobiles d'améliorer les standards des véhicules neufs vendus ont un effet fortement régressif. Les constructeurs, pour respecter les standards, sont en effet incités à réduire les prix des véhicules les plus performants et, corrélativement, à augmenter les prix des véhicules les moins performants. De ce fait les véhicules d'occasion achetés par les ménages à faibles revenus deviennent plus chers ;
- Des politiques conventionnelles associant réglementations et subventions profitent plus souvent aux ménages aisés : ils ont plus d'intérêt ou de facilité à changer d'équipements, si bien qu'ils bénéficient davantage des aides (celles en particulier ne

dépendant pas de leurs revenus) et le coût net des mises aux normes est plus faible pour eux. Le crédit d'impôt transition énergétique de 30 % sans condition de ressource tel que configuré en 2014 a bénéficié essentiellement aux propriétaires occupants de maisons individuelles alors que les logements collectifs et ceux occupés par des locataires affichent des performances énergétiques plus médiocres que la moyenne (Waysand *et al.*, 2017).

Ces évaluations *ex post* montrent que les impacts climat des mesures passées sont parfois frustrants. Elles sont en même temps riches d'enseignements pour dessiner des solutions plus pertinentes et plus justes. Il est possible, par un bon *design* et une bonne complémentarité des mesures, d'obtenir un résultat bien plus efficace et de mieux contrôler les effets redistributifs non désirés.

4. Conclusion

La stratégie de décarbonation conduit à élargir l'assiette des efforts à l'ensemble de secteurs mais en reconnaissant que les coûts d'abattement peuvent varier d'un secteur à l'autre, d'où l'importance d'évaluer précisément le périmètre et le tempo des actions utiles.

Le cœur de l'évaluation relève des dispositifs socio-économiques qui se sont perfectionnés au fil du temps. Ces dispositifs permettent de traiter trois questions successives :

- Celle du périmètre des actions utiles à la collectivité, selon une logique d'ordre de mérite ;
- Celle de la valeur monétaire des gains procurés par les investissements de décarbonation ;
- Celle du calibrage des instruments de politique publique (tarification, subventions, réglementations). Chacun de ces instruments implique un prix explicite ou implicite du carbone qui peut se comparer à la valeur carbone de référence. Il génère aussi des effets redistributifs, transparents dans le cas d'une tarification du carbone, plus opaques mais tous aussi importants pour les autres types de mesures.

Au total il est aujourd'hui possible, sans nier les incertitudes, d'appuyer la stratégie de décarbonation sur une évaluation permettant de sélectionner les actions les plus efficaces et de calibrer les mesures visant à les soutenir.

Références

- Agence Internationale de l'Énergie, 2021, *NetZero by 2050*, Rapport, mai.
- Aghion Ph., Hepburn C., Teytelboym A. et Zenghelis, D., 2019, *Path dependence, innovation and the economics of climate change. In Handbook on green growth*, Edward Elgar Publishing.
- Aghion Ph., 2020, *Le pouvoir de la destruction créatrice*, Paris, Odile Jacob.
- Allen T., Dees S., Caicedo Graciano C. M., Chouard V., Clerc L., Gaye A. de, Vernet L., 2020, « Climate-related scenarios for financial stability assessment: An application to France », *Banque de France, Working paper*, n° 774.
- Baumol W, Oates W., 1988, « The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment », *The Swedish Journal of Economics*, vol. 73, n° 1, *Environmental Economics*, mars, 1971, pp. 42-54.
- Blanchard O. et Tirole J., 2021, *Les grands défis économiques*, Rapport France Stratégie.
- Boiteux M., 2001, *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*, Rapport du Commissariat Général du Plan.
- Bureau D., Henriet F. et Schubert K., 2019, *A Proposal for the Climate: Taxing Carbon not People*, Rapport du Conseil d'Analyse Economique.
- Criqui P., 2021, *Les coûts d'abattement*, Rapport France Stratégie.
- Douenne T., 2019, « Les effets de la fiscalité écologique sur le pouvoir d'achat des ménages : simulation de plusieurs scénarios de redistribution », *Focus du CAE*, n° 30.
- Dupuit J., 1844, « De la mesure de l'utilité des travaux public », *Annales des Ponts et Chaussées*, Paris
- Fridstrom L., 2021, « The Norwegian Vehicle Electrification Policy and its Implicit Price of Carbon », *Sustainability*, vol. 13, n° 3, p. 1346.
- GIEC, 2021, « Climate Change 2021 - The Physical Science Basis - Summary for Policy Makers », Rapport IPCC.
- Gillingham K., Stock J. H., 2018, « The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 32, n° 4, automne, pp. 53-72.
- Global Carbon Budget, 2021, *Carbon Budget 2021*, Rapport du 4 novembre.
- Gollier C., 2011, « Le calcul du risque dans les investissements publics », Centre d'analyse stratégique, *Rapports et documents*, n° 36, La Documentation française.
- d'Haultefeuille X., Givord P. et Boutin X., 2014, « The environmental effect of green taxation: The case of the French bonus/malus », *The Economic Journal*, vol. 124, n° 578, pp. F444-F480.
- Hotelling H., 1931, « The Economics of exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, n° 39, pp. 137-175.

- Jacobsen M. R., 2013, « Evaluating US fuel economy standards in a model with producer and household heterogeneity », *American Economic Journal: Economic Policy*, vol. 5, n° 2, pp. 148-87.
- Lebègue D. (dir.), 2008, *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*, Commissariat général du Plan, La Documentation française.
- OCDE, 2018, *Effective Carbon Rates 2018: Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading*, Paris, Editions de l'OCDE.
- Pigou A. C., 1920, *The Economics of Welfare*, Londres, Macmillan.
- Quinet A., 2008, *La Valeur tutélaire du carbone*, Centre d'analyse stratégique, La Documentation française.
- Quinet A., 2019, *La Valeur de l'Action pour le climat*, France Stratégie, La Documentation française.
- Rocard M., 2009, *Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Energie*, La Documentation française.
- Stern N., 2006, *Stern Review on the Economics of Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Stern N., Stiglitz J., 2017, *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*, Carbon Pricing Leadership Coalition, 29 mai.
- Waysand C., D. Genet, M-P. Carraud, M. Rousseau, A. Weber et C. Helbronner, 2017, *Aides à la rénovation énergétique des logements privés*, Rapport IGF-CGEDD, La Documentation française, avril.

CHANGEMENT CLIMATIQUE PASSER DES COÛTS DE L’INACTION AUX BESOINS POUR L’ACTION

Vivian Dépoues

Chef de projet Adaptation au changement climatique, I4CE-Institut de l’Économie pour le Climat

Cet article analyse pourquoi il est crucial de développer la connaissance sur les ressources à mobiliser pour qu'émergent les processus d'adaptation au changement climatique en complément des nombreux travaux sur les bénéfices nets de l'anticipation. Il montre que se concentrer sur cet aspect permet de dépasser les difficultés les plus fréquemment identifiées en levant les verrous relatifs aux horizons de temps de l'analyse ou au choix des scénarios de changement climatique considérés. Adopter cette perspective demande de mieux tenir compte de la spécificité de chaque situation en considérant les coûts des premières mesures d'adaptation mais également des coûts inhérents à l'amorce du processus d'adaptation en tant que tel, liés à la mise en place des espaces de gouvernances appropriés et à la mobilisation de l'ingénierie nécessaire.

Mots clés : adaptation au changement climatique ; coût de l'inaction ; effets distributifs ; besoins de politiques publiques ; incertitudes.

Historiquement, une grande partie des travaux économiques sur l'adaptation au changement climatique a cherché à comparer les coûts de l'adaptation – elle est pensée comme une action d'anticipation pour se préparer aux effets du changement climatique – et les coûts de la non-action que représenterait notamment la matérialisation de ces impacts (Heuson, Gawel et Lehmann, 2014 ; Perthuis, Hallegatte et Lecocq, 2010 ; ECONADAPT, 2017). Très globaux, ces résultats doivent être mis en relation avec un autre pan de la littérature s'intéressant aux situations d'adaptation dans leurs particularités (voir par

exemple, Eisenack *et al.*, 2014 ; Oberlack et Eisenack, 2018). En effet, conclure à un bénéfice final net de l'anticipation ne suffit souvent pas à assurer que les conditions de déclenchement de l'action seront systématiquement réunies. Des enjeux de distribution des coûts et des bénéfices dans le temps et entre acteurs sont par exemple à prendre en compte. Cet article défend qu'en complément de l'effort de recherche sur les bénéfices nets de l'anticipation il est crucial de développer les connaissances sur les moyens à mobiliser dès aujourd'hui et dans les prochaines années, pour qu'émergent des dynamiques d'adaptation vertueuses. Comme nous l'expliquons dans la section 1, qualifier et quantifier ces besoins est une étape nécessaire pour concevoir des politiques d'adaptation ambitieuses et efficaces. Pour y parvenir nous proposons une approche qui se concentrerait sur les étapes en amont des démarches puis à raisonner sous forme de trajectoires d'adaptation. Adopter cette perspective permettrait de dépasser certaines impasses méthodologiques sur lesquelles nous revenons dans la section 2. Cette approche inviterait alors à prêter une attention particulière à trois types de besoins — de gouvernance, d'ingénierie et de viabilisation des modèles économiques adaptés — dont la prise en charge requiert des moyens spécifiques que nous détaillons dans la section 3. Nous concluons qu'une telle approche invite à être particulièrement attentif à des coûts de natures assez variées et à la cohérence des moyens à mobiliser.

1. Compléter l'argument des coûts de l'inaction en s'intéressant aux conditions d'émergence de l'adaptation

1.1. Un consensus sur les bénéfices de l'anticipation qui ne suffit pas à déclencher l'action

Une part importante de la littérature sur l'économie de l'adaptation cherche à évaluer le coût de l'adaptation (entendue comme une action d'anticipation des évolutions du climat) et à le mettre en perspective du coût de l'inaction, selon une approche classique de type analyse coûts-bénéfices.

Ces approches permettent d'aboutir à des évaluations agrégées des coûts de l'action comparés aux coûts de l'inaction en matière d'adaptation qui seraient notamment les coûts des dommages causés par les aléas climatiques. Ces évaluations sont réalisées à différentes échelles, locales, régionales ou globales, à l'échelle de toute l'économie ou de

secteurs particuliers¹ (Feyen *et al.*, 2020). Des initiatives comme le projet européen COACCH² dressent des panoramas de ces évaluations (COACCH, 2021).

Si les résultats chiffrés varient assez significativement d'une étude à l'autre – du fait des hypothèses à prendre pour rendre l'analyse possible – la plupart des études existantes tend à démontrer que les coûts de l'action sont toujours inférieurs à ceux de l'inaction. À titre d'exemple, les modélisations à l'échelle globale citées par Hallegatte *et al.* (2018) aboutissent à un résultat selon lequel les bénéfices de l'adaptation sont environ deux fois plus importants que ses coûts. Ces travaux mettent également en avant les avantages d'une action précoce, se concentrant dans un premier temps sur les mesures sans regret (*i.e.* dont les bénéfices sont avérés, peu importe la trajectoire de changement climatique effectivement suivie), les mesures combinant plusieurs bénéfices (en termes d'adaptation, de réduction de la pauvreté, etc.) et les mesures adaptables dans le temps ou robustes (*i.e.* satisfaisantes dans une grande variété de futurs climatiques possibles). Les recherches de la Commission mondiale sur l'adaptation (*Global Commission on Adaptation*, 2019) ont par exemple mis en avant les avantages de cinq catégories d'actions parmi lesquelles la mise en place d'infrastructures plus résilientes et le développement des systèmes d'alerte. Au niveau mondial, un investissement de 1 800 milliards de dollars entre 2020 et 2030 pourrait ainsi générer un bénéfice net de plus de 7 000 milliards de dollars.

Un tel chiffrage parvient à tenir compte de manière cohérente de plusieurs types de bénéfices de l'adaptation. Ces travaux de la Commission mondiale sur l'adaptation ont ainsi recours à la notion de « triple dividende » (reprise par la Commission européenne dans sa stratégie d'adaptation) et incluent dans leurs calculs (i) les co-bénéfices économiques de l'adaptation, comme l'accélération de l'innovation ou l'amélioration de la productivité induites, (ii) les bénéfices sociaux et environnementaux (dans l'esprit de l'analyse socio-économique) et (iii) les pertes évitées. Cette vision est donc très englobante et reste en

1. Des modélisations économiques d'une assez grande diversité sont utilisées pour évaluer les impacts de différents scénarios de changement climatique selon les secteurs et niveaux d'analyse. Le plus souvent les analyses sont conduites à partir de modèles d'impact sectoriels dont les résultats sont utilisés dans des modèles d'équilibre économique partiel ou général pour déterminer les impacts macro-économiques.

2. CO-designing the Assessment of Climate CHange costs <https://www.coacch.eu> – consulté le 03/03/2021

revanche muette sur la façon dont se répartissent les coûts et se distribuent ces bénéfices de l'adaptation. Elle ne dit rien non plus sur ce qui permet à une action d'adaptation d'émerger ou pas. Or ces questions sont fondamentales pour comprendre quelles sont les conditions à réunir pour déclencher l'action et qui peut y être incité.

Tableau de synthèse de la revue des connaissances existantes sur les coûts économiques du changement climatique et des politiques d'adaptation en Europe

Risque/ secteur	Périmètre de l'analyse économique/de politique	Estimation des coûts
Littoraux et tempêtes côtières	Traitement complet des impacts économiques de l'érosion et de la submersion aux niveau européen, nationaux et locaux. Des analyses appliquées de politiques d'adaptation incluant notamment des processus de décision en incertitude radicale (DMDU).	✓✓✓
Inondations, y compris infrastructures	Bonne couverture aux niveau européen, nationaux et locaux en particulier pour les inondations fluviales (moins pour les inondations urbaines). Des analyses économiques appliquées de politiques d'adaptation (y compris en incertitude)	✓✓✓
Agriculture	Bon traitement économique aux niveaux européen et nationaux (en équilibre partiel et général). Quelques études économiques sur l'adaptation des exploitations agricoles et du commerce. Des analyses économiques émergentes des politiques d'adaptation du secteur.	✓✓
Énergie	Des études sur les conséquences économiques de l'évolution de la demande en énergie (chauffage, refroidissement) et de l'offre des différentes technologies (hydroélectrique, éolien, solaire, thermique). Nombreuses études économiques sur les politiques d'atténuation mais plus faible couverture des politiques d'adaptation et des impacts systémiques sur l'approvisionnement énergétique.	✓✓
Santé	Bonne appréhension des effets économiques la mortalité liée à la chaleur aux niveaux européen et nationaux. Quelques estimations pour les maladies d'origine alimentaire. Traitement moins complet des autres impacts. Des données économiques émergentes sur les politiques d'adaptation (à la chaleur).	✓✓
Transport	Quelques études européennes sur les infrastructures routières et ferroviaires (surtout sur les impacts d'événements extrêmes). Études limitées sur l'air et les effets indirects. Analyse économique limitée des politiques d'adaptation dans le secteur.	✓✓
Tourisme	Études européennes et nationales sur le tourisme balnéaire (Méditerranée) et le tourisme de ski en hiver (Alpes). Peu d'informations sur le tourisme vert et les autres types de tourisme. Faible niveau d'analyse économique des politiques d'adaptation dans le secteur.	✓✓
Forêts et pêcheries	Études limitées des impacts économiques sur l'exploitation forestière (productivité). Quelques études sur les incendies de forêt en Europe. Aucune étude économique sur les parasites et les maladies. Analyses limitées des impacts économiques sur les pêcheries marines ou d'eau douce.	✓
Gestion de l'eau	Quelques études du bilan offre-demande aux niveaux nationaux et au niveau de bassins versants (avec analyse des déficits hydriques), mais absence d'études de coûts à l'échelle européenne. Analyses limitées des impacts économiques de l'adaptation et des politiques d'adaptation intersectorielles.	✓
Entreprises, services et industries	Peu de données issues d'études quantitatives. Quelques études sur la productivité du travail. Analyse limitée des impacts économiques sur les chaînes d'approvisionnement.	✓

(suite) Tableau de synthèse de la revue des connaissances existantes sur les coûts économiques du changement climatique et des politiques d'adaptation en Europe

Risque/secteur	Périmètre de l'analyse économique/de politique	Estimation des coûts
Analyse macro-économique	Plusieurs études paneuropéennes utilisant des modèles d'équilibre général. Faible prise en compte des effets sur les déterminants de la croissance, de l'emploi ou de la compétitivité.	✓
Biodiversité et services écosystémiques	Très peu de données scientifiques sur les impacts économiques. Les études économiques sur les politiques d'adaptation sont limitées (uniquement des études sur les coûts de restauration des écosystèmes).	✗
Points de bascule climatiques	Quelques études sur les coûts d'une élévation importante du niveau de la mer en Europe (>1m). Faible couverture économique sur les autres points de bascule climatiques biophysiques.	✓ / ✗
Points de bascule socio-économiques	Intérêt émergent pour les points de bascule socio-économiques (migration, chocs alimentaires) mais pas d'analyse économique documentée.	✗

✓✓✓ : Largement couvert par la littérature ; ✓✓ : Moyennement couvert par la littérature ; ✓ : Faiblement couvert par la littérature ;

✗ : Constat d'un manque dans la littérature.

COACCH. 2018. « The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on State of Knowledge and Key Research Gaps », *Policy brief by the COACCH project*. Editors: Paul Watkiss, Jenny Troeltzsch, Katriona McGlade. Mai 2018.

Traduction de l'auteur.

1.2. Des barrières à lever pour réunir les conditions d'émergence des actions d'adaptation

Un autre pan de la littérature s'intéresse de plus près à ces aspects au travers de l'étude des barrières à l'adaptation (Eisenack *et al.*, 2014 ; Oberlack et Eisenack, 2018). Différentes typologies de barrières sont proposées : barrières à différentes étapes du cycle de vie des projets et à différents niveaux d'actions et barrières de différentes natures (économiques et financières mais également cognitives et comportementales, institutionnelles et de gouvernance). Sont ainsi discutés la prise en compte des incertitudes, la compatibilité des horizons de temps en jeu, les asymétries d'information entre acteurs, la capacité à internaliser les coûts et les bénéfices de l'adaptation dans les processus de décision, la distribution des coûts et des bénéfices, l'accès aux ressources nécessaires pour intégrer l'adaptation dans les projets, l'accès au financement pour prendre en charge les surcoûts liés à l'adaptation, la coordination entre acteurs ou encore la fragmentation des responsabilités (Sainz de Murieta, Galarraga et Markandya, 2014 ; Climate Finance Advisors, 2019 ; Global Commission on Adaptation, 2019 ; Heuson, Gawel et Lehmann, 2014 ; Moser et Ekstrom, 2010 ; Biesbroek *et al.*, 2011).

C'est souvent la forte composante collective de l'adaptation et ses effets distributifs (entre acteurs et dans le temps) qui s'avèrent problématiques. En effet, l'action ou la non-action de certains acteurs peut entraîner des conséquences directes (des externalités) sur la capacité d'adaptation d'autres acteurs (Heuson, Gawel et Lehmann, 2014 ; Schneider, 2014). La construction d'une retenue d'eau par des exploitants agricoles impacte par exemple la disponibilité de la ressource pour les autres usagers du bassin versant en aval. Par ailleurs, ceux qui sont en capacité, techniquement ou financièrement, de déployer des actions d'adaptation ne sont pas toujours ceux qui en retireront les bénéfices (Tompkins et Eakin, 2012). Quand ces bénéfices sont largement distribués, ils peuvent par ailleurs être difficiles, voire impossibles à internaliser, en tous cas sur les durées considérées dans les analyses économiques standard.

Ces différents travaux mettent tous en évidence l'intrication des dimensions économiques et de gouvernance (Huitema *et al.*, 2016). Ils invitent à s'intéresser de plus près aux conditions d'émergence des actions et à considérer attentivement les conséquences de la prise en compte des évolutions climatiques sur les modèles économiques.

À partir de ces résultats, nous défendons donc qu'en complément de l'effort de recherche sur les bénéfices nets de l'adaptation il est crucial de développer les connaissances sur les moyens à mobiliser à court terme pour réunir ces conditions afin qu'émergent des dynamiques vertueuses. Cela est d'autant plus important qu'à l'heure actuelle les efforts d'adaptation semblent toujours loin de l'optimum économique mis en avant par ces études, dans le monde comme en France (UNEP, 2021 ; Haut conseil pour le climat, 2021 ; Sénat, 2020).

2. Un raisonnement qui permet de dépasser les trois principaux obstacles méthodologiques à l'évaluation des coûts de l'adaptation

Le développement des analyses de type coûts-bénéfices évoquées plus haut a donné lieu à d'importants débats méthodologiques. Parmi ceux les plus souvent relevés on peut citer la difficulté à définir le scénario de référence (*i.e.* sans adaptation) par rapport auquel sont mesurés les coûts et bénéfices ; la définition du niveau d'adaptation à atteindre ; la manière dont tenir compte des incertitudes sur les évolutions du climat ou la question de l'actualisation (Hallegatte, 2006 ;

Sainz de Murieta, Galarraga et Markandya, 2014 ; Hallegatte *et al.*, 2018). Des auteurs remarquent également les limites de ces approches qui ne sont souvent pas les mieux à même de tenir compte des externalités non monétisables (Rouillard *et al.*, 2016).

Il n'est pas rare que ces éléments soient évoqués pour expliquer la difficulté à évaluer précisément les besoins d'adaptation, ce qui a pour conséquence de ralentir sa mise en œuvre opérationnelle. Pourtant, en s'intéressant d'abord aux premières étapes puis en raisonnant sous forme de trajectoires d'adaptation, il est possible de dépasser les trois principaux obstacles méthodologiques les plus fréquemment énoncés – le choix d'un horizon temporel (2.1) ; la détermination du scénario de réchauffement à considérer (2.2) et la capacité à isoler ce qui relève directement de l'adaptation (2.3) – comme nous le montrons dans cette section.

2.1. Le choix d'un horizon temporel

La première question qui se pose est celle de l'horizon temporel de l'analyse. Cette question est effectivement bloquante lorsque l'objectif est de sommer des coûts et des flux de revenus et de les actualiser sur une période – le choix de la période (et du taux d'actualisation) pouvant être déterminant du résultat. En revanche, si la question est d'abord celle des moyens à engager dès maintenant et étape par étape pour se mettre en capacité de s'adapter, alors l'obstacle s'estompe.

L'adaptation est en effet décrite plus précisément comme un processus que comme un état final. Elle est itérative et continue pour répondre à des évolutions du climat qui sont-elles mêmes continues. Au cours des prochaines décennies, l'adaptation ne consistera pas à passer d'une situation optimisée pour un état climatique stable A à une situation optimisée pour un état climatique stable B, mais bien à faire des choix adaptés à une situation de changement.

La question temporelle se résout donc moins dans l'absolu par le choix d'un horizon de référence unique que de façon relative à la décision en jeu. C'est par exemple la durée de vie de l'actif dans lequel on est en train d'investir qui doit déterminer le niveau d'adaptation à considérer puisque le défi est que cet actif soit en mesure d'assurer sa fonction de manière satisfaisante au travers de toutes les conditions climatiques qu'il va rencontrer au cours de sa vie. Plusieurs moments d'intervention opportuns peuvent donc être identifiés au fil des cycles de renouvellement des actifs et des décisions stratégiques.

L'évaluation des besoins pour l'adaptation peut donc s'envisager de manière dynamique et être séquencée sous la forme de trajectoires (*cf. encadré*) combinant des actions qui peuvent aller de l'ajustement jusqu'à des transformations plus structurelles au fil du temps (Haasnoot *et al.*, 2020 et 2013). Sans opposer court terme et long terme, il est possible d'amorcer maintenant des transformations difficilement réversibles ou de préférer commencer par des actions de plus court terme (par exemple renforcer une digue) tout en se donnant les moyens préparant la suite (par exemple le déplacement d'activités dans des zones moins exposées). Cela permet de se préparer à agir sans pour autant surinvestir à priori.

Encadré 1. Trajectoires d'adaptation

L'approche par trajectoires d'adaptation est une forme de « planification dynamique » au service d'un mode de gestion « souple et progressif, reposant sur une démarche d'évaluation et d'ajustement en continu des mesures d'adaptation à mesure que les connaissances se développent et que les conditions climatiques et socio-économiques évoluent » (ADEME, 2018).

Cette démarche des *adaptation pathways* est issue de différents travaux européens à la suite d'expériences comme l'adaptation de l'estuaire de la Tamise au Royaume-Uni à la hausse du niveau marin ou la gestion de l'eau aux Pays-Bas (Haasnoot *et al.*, 2020 et 2013 ; UK Environment Agency, 2011 et 2021 ; Magnan, Anisimov et Dépoues, 2020).

Comme le résume l'ADEME dans son outil TACCT qui en reprend la logique (ADEME, 2018), « l'approche par trajectoires d'adaptation reconnaît qu'il y a souvent plusieurs façons de répondre aux enjeux du changement climatique et qu'une combinaison d'actions, dont certaines sont à mettre en œuvre dès à présent et d'autres réservées pour l'avenir (en fonction de l'évolution du contexte climatique et socio-économique) constitue une manière efficace et robuste de s'adapter au changement climatique. Les trajectoires d'adaptation, qui combinent et séquentent les actions envisagées, peuvent être positionnées dans un diagramme, offrant la possibilité de visualiser les différents chemins possibles pour satisfaire aux objectifs d'adaptation aujourd'hui et sur le long terme ».

2.2. La détermination d'un scénario de réchauffement

Pour certains, il ne sera pas possible d'évaluer les besoins d'adaptation tant que l'on ne sera pas en mesure de définir précisément à quoi il faut s'adapter, c'est-à-dire à quels impacts précis du changement climatique correspond un certain niveau de réchauffement. En effet,

selon que l'on suive une trajectoire d'augmentation des températures globales moyennes de +2, +3 ou +4°C à la fin du siècle, les conséquences seront très différentes.

Or, si le climat jusqu'à 2050 semble en partie déjà déterminé par nos émissions passées (GIEC, 2018), celui de la deuxième moitié du siècle dépendra largement de la trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre de l'économie mondiale et donc de l'atteinte ou pas des objectifs de l'Accord de Paris de 2015. Certaines décisions prises aujourd'hui – par exemple en termes d'aménagement ou de développement de certaines infrastructures – engageant au-delà de 2050, seront impossibles à adapter tant que l'incertitude demeure.

Ce raisonnement sous-entend que toute décision se fonde nécessairement sur une logique déterministe alors que c'est loin d'être le cas. Dans un contexte de relative certitude, on peut chercher la solution qui minimise les coûts et maximise les bénéfices pour une situation donnée. Mais dans des situations moins déterminées, d'autres critères d'optimisation sont utilisables : par exemple un critère de minimisation des regrets, consistant à chercher la solution qui sera la moins mauvaise dans un maximum d'éventualités (Colombo et Byer, 2012). Ce type de raisonnement est – formellement ou non – très largement répandu dans des domaines habitués à des contextes de fortes incertitudes. Les dirigeants publics n'attendent par exemple de certitudes sur l'évolution de la situation géopolitique pour prendre des décisions de politique étrangère.

La nouveauté n'est donc pas tant dans la capacité à composer avec des variables incertaines qu'à ranger les conditions climatiques – qui ont longtemps pu être traitées comme des constantes – dans cette catégorie. Les risques climatiques changent de nature, ils ne sont plus aussi facilement probabilisables et cela impacte la manière dont doit être conçue une infrastructure ou dimensionné un mécanisme de couverture des risques. Ces évolutions ont des conséquences, y compris en termes de ressources nécessaires pour opérer le changement de perspective, mais ne constituent pas en soi un obstacle à l'organisation de l'adaptation.

La difficulté réside dans l'ouverture à laquelle amène cette situation d'incertitude³. Il n'y a plus de meilleure réponse unique, indépendamment des préférences des décideurs et des parties-prenantes à la décision. L'attitude à privilégier dépend de ce qui est en jeu et du niveau de risque acceptable pour ces acteurs (Crozet, 2004).

Évaluer les moyens à mobiliser pour l'adaptation c'est donc aussi évaluer les moyens à mobiliser pour être en mesure de décider de l'attitude à adopter. Adopter cette perspective amène à quantifier les coûts associés à l'analyse de la situation, au choix d'options robustes (*i.e.* satisfaisantes dans une large gamme de futurs possibles) ou flexibles (réversibles ou évolutives) et enfin à la gestion du risque résiduel qui est finalement accepté. Des outils d'analyse économique existent pour chiffrer précisément ces coûts, par exemple en chiffrant des « valeurs d'options » (Marchau *et al.*, 2019 ; Dessai et Hulme, 2004 ; S. Hallegatte *et al.*, 2012 ; Dittrich, Wreford et Moran, 2016).

2.3. La spécificité et l'additionnalité des actions d'adaptation

Il n'est pas toujours simple de déterminer avec précision quels besoins émergent spécifiquement pour s'adapter aux conséquences du changement climatique, d'une part parce qu'une même action peut être entreprise pour répondre à plusieurs défis et, d'autre part, parce que même les actions dont la finalité première est l'adaptation ont souvent des cobénéfices.

Certains auteurs encouragent même à adopter une définition volontairement large en décrivant comme adaptés tous les projets pensés de manière « intelligente », en ayant tenu compte des dynamiques d'évolution multiples avec lesquelles ils vont devoir composer⁴ (Banque mondiale, 2020).

L'exercice d'attribuer un coût spécifiquement à l'adaptation est en réalité purement comptable et dépend totalement de ce que l'on souhaite évaluer. Dans la perspective qui nous occupe d'estimer quels sont les moyens à mobiliser pour l'adaptation, des questions simples peuvent guider le raisonnement. Il est par exemple possible de se demander si, prendre en compte explicitement le changement climatique fait une différence par rapport à une situation où la question ne serait pas expressément posée : est-ce que cela modifie qualitativement ou quantitativement les besoins ? De même, pour déterminer si une ressource engagée peut être considérée comme contribuant à l'adaptation, il est possible de se demander si l'existence ou non de

3. On notera que l'incertitude liée aux scénarios de réchauffement n'est qu'une des incertitudes sur le niveau de changement climatique : la non-linéarité des phénomènes climatiques et les limites des outils de modélisation en sont deux autres sources (Hawkins et Sutton, 2009 ; Henry, 2013).

4. Dans cette perspective, l'adaptation rime d'abord avec un développement « intelligent » (« rapide, inclusif et adapté »).

cette ressource fait une différence sur la capacité à faire avec le changement climatique : a-t-elle un effet sur une des composantes de l'équation du risque (l'aléa, l'exposition, la vulnérabilité ou la capacité d'adaptation) ? Des moyens peuvent être préexistants mais voir leur pertinence renforcée dans un contexte de changement climatique (*i.e.* sans ces moyens le système considéré serait moins préparé, plus vulnérable), ou totalement nouveaux, en prenant la forme d'un surcoût ou d'un coût *ad-hoc*.

3. Une approche qui invite à prêter une attention particulière à trois types de besoins pour qu'émergent des actions d'adaptation

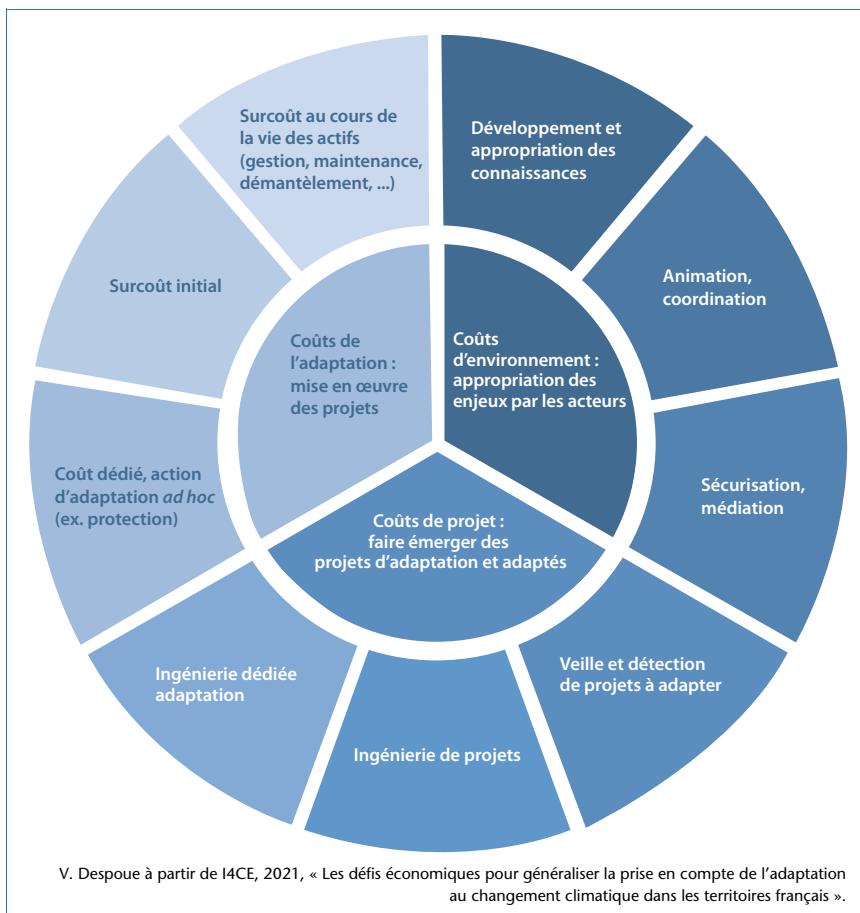
L'enjeu est donc d'abord de qualifier et de quantifier les moyens à mobiliser dès maintenant, avec le niveau de connaissance dont on dispose pour faire en sorte que la question des évolutions du climat soit posée explicitement dans les processus de décision engageant sur le long terme. Il est ensuite de définir, en fonction des préférences des acteurs⁵, quels sont les coûts de l'adaptation proprement dite (coûts de projets spécifiques dont la finalité première est l'adaptation ou surcoût pour adapter des projets qui poursuivent d'abord d'autres objectifs) et comment ces coûts peuvent s'échelonner dans le temps. En d'autres termes, il s'agit de mieux appréhender les coûts du processus d'adaptation comme on parlerait d'un processus qualité dans une entreprise et les coûts de l'adaptation elle-même comme on parlerait des coûts de la qualité.

Ce travail est nécessaire pour structurer les débats collectifs et les arbitrages sur les besoins et la répartition des ressources publiques. Il constitue également un prérequis pour établir des plans de financement de l'adaptation, à l'échelle nationale comme aux échelles territoriale et organisationnelle, et crédibiliser ainsi les feuilles de route qui commencent à émerger.

5. Le travail est faisable peu importe le niveau de consensus entre les acteurs. Dans les cas où tout le monde est d'accord sur ce qu'il faut faire et dans quel ordre il suffit de chiffrer les actions. Dans les cas plus controversés, il est d'ores et déjà possible de chiffrer les mesures sans-regret auxquelles personne ne s'oppose puis d'identifier quelles actions vont permettre d'avancer dans la discussion. L'état de controverse peut également amener à moins considérer des actions d'anticipation fortes (car elles ne rassemblent pas de consensus) et donc plus de coûts liés à la gestion au fil de l'eau ou en réaction des impacts qui n'auront pas été anticipés.

Poser systématiquement la question des évolutions du climat dans la décision structurante n'est ni évident ni immédiat. En cherchant à traduire en termes économiques les principales barrières rencontrées par les acteurs territoriaux cherchant à le faire en France (I4CE et Ramboll, 2021a et 2021b), nous avons pu établir trois grands enjeux : (3.1) un enjeu de gouvernance pour permettre l'établissement d'un environnement propice ; (3.2) un enjeu d'ingénierie pour intégrer l'adaptation dans les projets et (3.3) un enjeu de viabilisation de modèles économiques adaptés. La prise en charge de chacun de ces enjeux génère des besoins de moyens spécifiques.

Typologie des coûts théoriques de l'adaptation issue du projet Finadapter
(I4CE, Ramboll 2021)



V. Despoue à partir de I4CE, 2021, « Les défis économiques pour généraliser la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les territoires français ».

3.1. Gouvernance : établir un environnement économique et institutionnel propice à l'adaptation

Parce qu'elle nécessite d'organiser des choix collectifs en incertitude et qu'elle est potentiellement elle-même génératrice d'incertitudes – liées notamment aux manques de retours d'expériences –, qu'elle implique souvent de nombreux acteurs, déborde les cadres administratifs habituels et peut être source de tensions, voire de conflits, l'adaptation pose avant tout un défi en termes de gouvernance. Ce constat a pour conséquence une importance cruciale des espaces, temps et dispositifs institutionnels qui définissent un « environnement propice⁶ » à la structuration de projets adaptés, socialement acceptables et économiquement viables (OECD, 2015). Cet environnement propice est caractérisé par l'ensemble des conditions qui permettent aux parties-prenantes d'exprimer leurs besoins et leurs priorités, éventuellement de négocier et de s'entendre sur la stratégie à suivre.

Les caractéristiques de ce type d'environnement citées de manière récurrente par les acteurs interrogés sont : un accès à l'information facilité, l'ouverture à une diversité de parties-prenantes (et donc l'existence d'espaces d'échange et de modalités de prise de décision adaptées à cette diversité) et à la fois une flexibilité des cadres normatifs et une forme de stabilité des objectifs et des règles du jeu. L'émergence⁷ et l'entretien d'un tel environnement est aussi une source de coûts pour informer, sensibiliser puis animer la discussion. Prendre en charge ces coûts et faciliter ainsi l'émergence de projets solides est un besoin essentiel. Il s'agit notamment de coûts liés à :

- **La connaissance et l'information** pour soutenir le développement de connaissances et de prospectives partagées ainsi que l'émergence de signaux économiques, d'indicateurs communs et la capitalisation des expériences d'adaptation ;
- **L'animation** pour mobiliser les moyens – notamment humains – pour faire vivre le sujet de l'adaptation par des actions de mobilisation, d'animation des démarches, de mise en réseau et d'articulation des initiatives ;

6. *Enabling environment* pour reprendre le terme anglais fréquemment utilisé par des institutions internationales comme l'OCDE – <https://www.oecd.org/env/cc/44887764.pdf> – consulté le 10/08/2020.

7. Car ces espaces ne sont pas toujours préexistants ou ne se situent pas systématiquement aux échelles les plus pertinentes pour l'adaptation.

- **La coordination-médiation** pour prendre en charge les coûts de sécurisation d'un environnement institutionnel et juridique favorable à l'adaptation.

3.2. Ingénierie : concevoir des démarches et des projets adaptés

Une grande partie du défi de l'adaptation consiste à intégrer les évolutions du climat dès la conception des démarches et des projets qui devront composer avec leurs impacts. Il s'agit par exemple de ne plus simplement dimensionner des infrastructures à partir de données météorologiques historiques mais de tenir compte du fait qu'elles connaîtront au cours de leur vie des conditions climatiques différentes. Il s'agit également de vérifier que des choix de développement économique sont compatibles avec la nouvelle donne climatique — par exemple avec de nouvelles contraintes sur la disponibilité de la ressource en eau.

Ce processus demande du temps et des compétences pour identifier les projets qu'il faut pouvoir adapter d'une part, puis effectuer le travail d'intégration de l'adaptation dans les projets d'autre part :

Des compétences nouvelles, spécifiques à l'adaptation qui n'étaient pas mobilisées avant et devront l'être pour être en mesure de traiter l'information climatique et de piloter l'adaptation (exemple l'utilisation de services climatiques, la maîtrise des méthodologies d'analyse de vulnérabilité, etc.) ;

La coordination des compétences métiers et du temps pour bien tenir compte des spécificités de chaque contexte, les conséquences du changement climatique pouvant significativement varier d'une région à l'autre et surtout la vulnérabilité étant fonction des caractéristiques de chaque situation. Les travaux sur l'adaptation tendent en effet à démontrer qu'il y aura peu de solutions génériques mais avant tout des réponses contextualisées (I4CE et Ramboll 2021) — par exemple moins de bâtiments standards et plus de conceptions bioclimatiques. Le déploiement de cette contextualisation demande du temps et de la coordination entre métiers.

Les options identifiées, souvent plurielles, amènent à modifier les manières de faire habituelles et peuvent soulever des enjeux nouveaux en termes techniques mais aussi juridiques et financiers. Les stratégies d'adaptation locales comportent par exemple souvent de multiples actions complémentaires, de natures différentes et s'échelonnant dans le temps. La manière de financer de tels bouquets en articulant des

natures de dépenses et des horizons de temps différents peut alors être un réel défi d'ingénierie financière pour des porteurs de projets.

3.3. (Sur)coûts des actions d'adaptation elles-mêmes : internalisation dans les modèles économiques ou prise en charge publique

Intégrer l'adaptation peut avoir des conséquences sur les modèles économiques des démarches et des projets. Premièrement, l'adaptation peut générer certains surcoûts (exemple le renforcement d'une structure) qui ne sont pas systématiquement associés à une proposition de valeur monétisable (ceux qui payent pour un bien, un équipement ou un service n'étant pas toujours prêts à payer plus cher pour une version de ce même bien, équipement ou service, qui serait adaptée au changement climatique⁸). Deuxièmement, l'adaptation peut impacter la rentabilité d'un projet en limitant ses perspectives de revenu, par exemple lorsqu'elle amène à privilégier des modèles de développement qui, bien que restant économiquement viables, se révèlent moins rentables à court terme que les modèles non adaptés (par exemple en préférant investir dans du tourisme « 4 saisons » en moyenne montagne plutôt que d'équiper une station d'enneigeurs artificiels). Enfin, s'il n'est pas du tout systématique que l'adaptation génère des besoins d'investissements additionnels, certaines stratégies impliquent des coûts fixes potentiellement très significatifs : coûts de gestion des risques (exemple les infrastructures grises ou vertes de protection, la constitution de réserves stratégiques, le développement d'un système d'alerte) ; de mobilisation de foncier car l'adaptation demande souvent de l'espace (exemple pour permettre une meilleure réalimentation des nappes phréatiques, accroître la place de la végétation en ville, maintenir des redondances dans le maillage des infrastructures critiques, développer de nouvelles activités agricoles ou touristiques) ou encore de prise en charge des actifs en fin de vie (exemple le démantèlement de remontées mécaniques), échoués ou qui doivent être relocalisés (par exemple sur les littoraux).

Pour que l'adaptation ait lieu il est alors nécessaire de trouver comment compenser ces impacts sur les modèles économiques. Pour cela, il n'y a pas de solution unique. Il est possible d'explorer des modèles alternatifs en cherchant par exemple de nouveaux équilibres à d'autres

8. En effet les signaux économiques incitatifs à l'adaptation restent très rares, il n'y a par exemple pas de signal prix en faveur des bâtiments résilients sur le marché immobilier français.

échelles spatiales, en répartissant autrement la valeur entre l'amont et l'aval de filières (par exemple en monétisant les économies générées lors de l'exploitation d'un bâtiment par des investissements consentis à la construction) ou en valorisant certains cobénéfices de l'adaptation. Quand il ne semble pas possible d'internaliser les coûts générés par la prise en compte de l'adaptation, une intervention publique peut s'avérer nécessaire (encadré 2).

Encadré 2.

« **Les secteurs privé et public ont un rôle à jouer dans l'élaboration et la mise en œuvre des mesures d'adaptation** » (GIEC, 2014)

Si une partie de l'adaptation relève des choix stratégiques et des pratiques de gestion du risque de chaque acteur économique et peut être décrite comme autonome et spontanée⁹, un consensus assez large dans la littérature scientifique reconnaît qu'une part significative ne partage pas ces caractéristiques et reposera donc sur l'intervention publique (Sainz de Murieta, Galarraga et Markandya, 2014 ; Hallegatte *et al.*, 2018).

Les situations résultantes de barrières à l'adaptation peuvent être décrites comme des défaillances de marché justifiant l'intervention publique (OECD, 2008 ; Perthuis, Hallegatte et Lecocq, 2010). Plus fondamentalement, l'adaptation dépasse le simple besoin d'ajustements à la marge. Certaines conséquences du changement climatique questionnent jusqu'à la pérennité d'installations ou d'activités sur des territoires – par exemple du tourisme de neige en moyenne montagne ou de l'installation en zones submersibles. Lorsque l'adaptation devient « transformationnelle » (Comité 21, 2020 ; Simonet, 2020 ; Kates, Travis et Wilbanks, 2012), s'adapter implique des choix collectifs¹⁰ de développement économique ou d'aménagement. Dans un contexte démocratique, ces choix, et plus encore la trajectoire dessinée pour les concrétiser, ne peuvent être que le résultat de processus de délibération au sein de structures de gouvernance partagée (Mees, Driessen et Runhaar, 2012).

Ces considérations dessinent deux besoins complémentaires d'action publique en matière d'adaptation au changement climatique (Sainz de Murieta, Galarraga et Markandya, 2014 ; Hallegatte *et al.*, 2018) :

9. C'est par exemple déjà le cas d'entreprises produisant des équipements de ski qui se diversifient vers d'autres sports d'extérieurs, de gestionnaires immobiliers qui cartographient la vulnérabilité de leur parc pour intégrer l'adaptation à leur planning de travaux ou de particuliers qui choisissent d'installer des protections solaires à leur habitation.

10. La notion de choix est particulièrement importante à souligner ici : il n'y en a effet rarement qu'une seule option d'adaptation disponible mais une diversité d'attitudes possibles qui dépend notamment du niveau de risque jugé acceptable – c'est ce niveau d'acceptabilité et l'attitude collectivement privilégiée qui doit être au centre de discussions collectives.

- **Un besoin de coordination** d'une part pour garantir que la somme des actions d'adaptation entre les acteurs et dans le temps soit la plus bénéfique possible en termes collectifs. Répondre à cet enjeu passe par la création d'un environnement propice à l'adaptation (*i.e.* mise en place d'incitations, de normes, de standards, le partage d'informations, etc.) et par la structuration de la gouvernance nécessaire pour que soient faits les grands choix collectifs quant à l'attitude à adopter face aux conséquences du changement climatique ;
- **Un besoin de prise en charge de certaines actions d'adaptation** lorsque celles-ci prennent la forme de biens publics. Il s'agit notamment de la production d'infrastructures ou de services qui conditionneront la capacité de l'économie à faire avec les changements climatiques.

Pour y parvenir, tous les outils classiques de l'action publique peuvent être mobilisés (OECD, 2015) : la provision d'information, la mise en place d'incitations (par exemple fiscales), la régulation ou encore des outils de financement (prise en charge directe de certaines actions, mandat confié à des agences publiques, partenariats public-privé, instruments de partage des risques, etc.).

4. Conclusion : au-delà des montants, prendre au sérieux des besoins de différentes natures

En résumé, la connaissance des gains économiques que l'on peut attendre des mesures d'adaptation par rapport à l'inaction est insuffisante pour déclencher l'action au niveau souhaité. Plutôt que d'évaluer de plus en plus précisément combien s'adapter pourrait avoir coûté en 2050 ou 2100 (ce qui soulève de nombreux obstacles méthodologiques), nous défendons dans cet article l'argument que la priorité est de développer les connaissances sur les conditions à réunir dès maintenant pour qu'émergent les processus d'adaptation. Il s'agirait de considérer en priorité les premières étapes le long de trajectoires d'adaptation laissant différentes orientations encore ouvertes. Se concentrer sur cet aspect permet de dépasser les difficultés les plus fréquemment identifiées en levant les verrous relatifs aux horizons de temps de l'analyse ou au choix des scénarios de changement climatique considérés. Cela demande de tenir compte des coûts des premières mesures d'adaptation elles-mêmes (nouveaux investissements et surcoûts éventuels pour adapter des opérations courantes) mais également des coûts inhérents à l'amorce du processus d'adaptation en tant que tel, liés à la mise en place des espaces de gouvernance appropriés et à la mobilisation de l'ingénierie nécessaire.

Prendre au sérieux l'importance de l'existence d'un environnement propice à l'adaptation, des phases de préparation de projets ou de démarches adaptées comme de la viabilisation de modèles économiques adaptés invite à être attentif à des actions de natures très différentes nécessitant des moyens adaptés. Ceux nécessaires au développement de la connaissance, à des actions d'animation et de formation, à la veille, au suivi et au pilotage de systèmes (une ville, une forêt, un barrage...) dans des conditions de changement climatique ainsi qu'à l'expérimentation ou à la gestion des risques s'avèrent tout aussi importants que ceux liés à de nouveaux investissements.

Chacun de ces besoins (de connaissances, de temps, de compétences comme d'investissements) peut se traduire en besoin de moyens financiers. Les dépenses à engager pourront être incommensurables en volume mais toutes déterminantes et interdépendantes pour l'adaptation. En effet, les actions d'adaptation trouvent souvent leur efficacité dans la cohérence de leur combinaison : des infrastructures améliorées de stockage et de distribution de l'eau ne pouvant par exemple être totalement efficaces que couplées à un suivi fiable de l'état hydrologique du bassin et donc à une bonne connaissance prospective de l'évolution de la ressource disponible.

Certaines de ces dépenses seront préexistantes et pourront être reconSIDérées (en termes de dimensionnement, de pertinence, de définition de la performance) dans un contexte de changement climatique, d'autres seront parfaitement nouvelles.

Une part significative de ces besoins seront des besoins récurrents incluant des dépenses de fonctionnement et en particulier des coûts en termes de ressources humaines (mobilisation d'expertise sur des missions nouvelles ou croissantes). Il s'agira souvent de dépenses transversales qui dépasseront les champs thématiques des politiques climatiques et environnementales. L'adaptation posant aussi (et peut-être même d'abord et surtout) des questions d'aménagement, d'équipement ou encore de développement économique pouvant entraîner des besoins de politiques industrielles.

Références

- ADEME, 2018, « Construire des trajectoires d'adaptation au changement climatique du territoire – Guide méthodologique ».
- Banque mondiale, 2020, « Adaptation Principles : A Guide for Designing Strategies for Climate Change Adaptation and Resilience ».
- Biesbroek Robbert, Judith Klostermann, Catrien Termeer et Pavel Kabat, 2011, « Barriers to climate change adaptation in the Netherlands », *Climate Law*, vol. 2, n° 2, pp. 181-99. <https://doi.org/10.1163/CL-2011-033>.
- Climate Finance Advisors, 2019, « Driving Finance Today for the Climate Resilient Society of Tomorrow ».
- COACCH, 2021, « The Economic Cost of Climate Change in Europe Synthesis Report on State of Knowledge and Key Research Gaps ».
- Colombo Andrew F. et Philip H. Byer, 2012, « Adaptation, Flexibility and Project Decision-Making with Climate Change Uncertainties », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 30, n° 4, pp. 229-41. <https://doi.org/10.1080/14615517.2012.731189>.
- Comité 21, 2020, « S'adapter aux changements climatiques : propositions pour une transformation accélérée des territoires et des organisations ».
- Crozet Yves, 2004, « Calcul économique et démocratie : des certitudes technocratiques au tâtonnement politique », *Cahiers d'économie politique*, n° 2, pp. 155-72.
- Dessai Suraje et Mike Hulme, 2004, « Does Climate Adaptation Policy Need Probabilities? », *Climate Policy*, vol. 4, n° 2, pp. 107-28. <https://doi.org/10.1080/14693062.2004.9685515>.
- Dittrich Ruth, Anita Wreford et Dominic Moran, 2016, « A Survey of Decision-Making Approaches for Climate Change Adaptation: Are Robust Methods the Way Forward? », *Ecological Economics*, n° 122 (février), pp. 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.006>.
- ECONADAPT, 2017, « The Costs and Benefits of Adaptation ».
- Eisenack Klaus, Susanne C. Moser, Esther Hoffmann, Richard J. T. Klein, Christoph Oberlack, Anna Pechan, Maja Rotter et Catrien J. A. M. Termeer, 2014, « Explaining and Overcoming Barriers to Climate Change Adaptation », *Nature Climate Change*, vol. 4, n° 10, pp. 867-72. <https://doi.org/10.1038/nclimate2350>.
- Feyen L., J. C. Ciscar, S. Gosling, D. Ibarreta, A. Soria, European commission et Joint Research Centre, 2020, *Climate Change Impacts and Adaptation in Europe: JRC PESETA IV Final Report*. https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJNA30180ENN.
- GIEC, 2014, « Changements climatiques 2014 : incidences, adaptation et vulnérabilité ». Contribution du Groupe de travail II au cinquième, *Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, Genève.

- GIEC, 2018, « Rapport Spécial : Réchauffement planétaire de 1,5°C ».
- Global Commission on Adaptation, 2019, « Adapt now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience ».
- Haasnoot, Marjolijn, Maaike van Aalst, Julie Rozenberg, Kathleen Dominique, John Matthews, Laurens M. Bouwer, Jarl Kind, et N. LeRoy Poff, 2020, « Investments under Non-Stationarity: Economic Evaluation of Adaptation Pathways », *Climatic Change*, vol. 161, n° 3, pp. 451-63. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02409-6>.
- Haasnoot Marjolijn, Jan H. Kwakkel, Warren E. Walker et Judith ter Maat, 2013, « Dynamic Adaptive Policy Pathways: A Method for Crafting Robust Decisions for a Deeply Uncertain World », *Global Environmental Change*, vol. 23, n° 2, pp. 485-98. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>.
- Hallegatte S., Ankur Shah, Casey Brown, Robert Lempert et Stuart Gill, 2012, « Investment Decision Making Under Deep Uncertainty – Application to Climate Change », *SSRN Scholarly Paper*, ID 2143067, Rochester (NY), Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2143067>.
- Hallegatte Stéphane, 2006, « L'évaluation économique des dommages du changement climatique », *La Météorologie*, n° 52, pp. 38-47. <https://doi.org/10.4267/2042/20054>.
- Hallegatte Stéphane, Carter Brandon, Richard Damania, Yunziyi Lang, John Roome, Julie Rozenberg et Tall Arame, 2018, « The Economics of (and Obstacles to) Aligning Development and Climate Change Adaptation. A World Bank Group contribution to the Global Commission on Adaptation ».
- Haut Conseil pour le Climat, 2021, *Rapport annuel 2021*.
- Hawkins Edward et Rowan Sutton, 2009, « The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 90, n° 8, pp. 1095-1108. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>.
- Henry Claude, 2013, « Incertitude scientifique et incertitude fabriquée », *Revue économique*, vol. 64, n° 4, pp. 589-98.
- Heuson Clemens, Erik Gawel et Paul Lehmann, 2014, « State of the Art on Economics of Adaptation », In *Routledge handbook of the economics of climate change adaptation*, Routledge.
- Huitema Dave, William Neil Adger, Frans Berkhout, Eric Massey, Daniel Mazmanian, Stefania Munaretto, Ryan Plummer et Catrien C. J. A. M. Termeer, 2016, « The Governance of Adaptation: Choices, Reasons, and Effects. Introduction to the Special Feature », *Ecology and Society*, vol. 21, n° 3, art.37. <https://doi.org/10.5751/ES-08797-210337>.
- I4CE et Ramboll, 2021a, « Défis rencontrés par 5 démarches territoriales qui cherchent à être à la hauteur des enjeux d'adaptation ».

I4CE et Ramboll, 2021b, « Les défis économiques pour généraliser la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les territoires français ».

Kates R. W., W. R. Travis et T. J. Wilbanks, 2012, « Transformational Adaptation When Incremental Adaptations to Climate Change Are Insufficient », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, n° 19, pp. 7156-61. <https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109>.

Magnan Alexandre K., Ariadna Anisimov et Vivian Dépoues, 2020, « Changement Climatique : penser Les « trajectoires » de l'adaptation », *The Conversation*, 2020.

Marchau Vincent A. W. J., Warren E. Walker, Pieter J. T. M. Bloemen et Steven W. Popper, 2019. *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*, Cham, Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>.

Mees Heleen L. P., Peter P. J. Driessen et Hens A. C. Runhaar, 2012, « Exploring the Scope of Public and Private Responsibilities for Climate Adaptation », *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 14, n° 3, pp. 305-30. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2012.707407>.

Moser S. C. et J. A. Ekstrom, 2010, « A Framework to Diagnose Barriers to Climate Change Adaptation », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° 51, pp. 22026-31. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>.

Oberlack Christoph et Klaus Eisenack, 2018, « Archetypical Barriers to Adapting Water Governance in River Basins to Climate Change », *Journal of Institutional Economics*, vol. 14, n° 3, pp. 527-55. <https://doi.org/10.1017/S1744137417000509>.

OECD, 2008, *Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique: coûts, bénéfices et instruments économiques*, Paris, Éditions OCDE.

OECD, 2015, « Climate Change Risks and Adaptation?: Linking Policy and Economics », Paris.

Perthuis Christian de, Stéphane Hallegatte et Franck Lecocq, 2010, « Économie de l'adaptation au changement climatique », *Note du Conseil économique pour le développement durable*, février.

Rouillard Josselin, Jenny Tröltzsch, Manuel Lago, Anil Markandya, Elisa Sainz de Murieta et Ibon Galarraga, 2016, « Distributional objectives and non-monetary metrics ».

Sainz de Murieta Elisa, Ibon Galarraga et Anil Markandya, 2014, « Introduction to the economics of adaptation to climate change », In *Routledge handbook of the economics of climate change adaptation*, Routledge.

Schneider Tina, 2014, « Responsibility for Private Sector Adaptation to Climate Change », *Ecology and Society*, vol. 19, 2, art. 8. <https://doi.org/10.5751/ES-06282-190208>.

Sénat, 2020, « Rapport d'information fait au nom de la délégation aux collectivités territoriales et à la décentralisation sur l'ingénierie territoriale et l'agence nationale de la cohésion des territoires ».

Simonet Guillaume, 2020, « De l'ajustement à la transformation?: vers un essor de l'adaptation?? » *Développement durable et territoires*, vol. 11, n° 2 (juillet). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.17511>.

Tompkins Emma L. et Hallie Eakin, 2012, « Managing Private and Public Adaptation to Climate Change », *Global Environmental Change*, vol. 22, n° 1, pp. 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.010>.

UK Environment Agency, 2011, « Thames Estuary 2100 project ».

UK Environment Agency, 2021, « Thames Estuary 2100: 10-Year Review monitoring key findings ».

UNEP, 2021, « Adaptation Gap Report 2020 ».

INVESTIR DANS DES INFRASTRUCTURES BAS-CARBONE EN FRANCE QUELS IMPACTS MACRO-ÉCONOMIQUES¹

Alexandre Tourbah, Frédéric Reynès*, Meriem Hamdi-Cherif,
Jinxue Hu**, Gissela Landa, Paul Malliet

Sciences Po, OFCE

* OFCE ; NEO – Netherlands Economic Observatory ; TNO – Netherlands Organization
for Applied Scientific Research

** NEO – Netherlands Economic Observatory

Les politiques d'infrastructures constituent un levier essentiel pour les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation des territoires aux conséquences du réchauffement climatique. Dans la perspective de la transition environnementale en France, des investissements significatifs devront être réalisés dans les années à venir pour transformer, rénover et maintenir les infrastructures, entraînant d'importantes évolutions socio-économiques à l'échelle du pays. Le présent article donne les montants d'investissements additionnels en infrastructures nécessaires à l'atteinte des objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone et de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, selon deux scénarios distincts (« Pro-techno » et « Sobriété ») avant d'en analyser les conséquences macro-économiques et sectorielles. Les résultats mettent en évidence une hausse significative du PIB (de 1 à 1,2 %) et du nombre d'emplois (entre 300 000 et 400 000 emplois supplémentaires) durant la première décennie (2021-2030) dans les deux scénarios ; les bénéfices se répartissant entre différents secteurs d'activité, au premier rang desquels les travaux publics et les services. Après 2030, les impacts économiques sont moins marqués dans le scénario Sobriété, du fait d'investissements plus réduits dans les secteurs routiers, ferroviaires, et l'aménagement de sites, mais restent positifs aussi bien sur l'activité que sur l'emploi. L'analyse effectuée met en évidence la sensibilité des résultats à des hypothèses complémentaires associées à ces scénarios, en particulier la baisse des importations d'énergie de la France.

Mots clés : investissements en infrastructures, travaux publics, impacts macro-économiques, transition bas-carbone, adaptation au changement climatique.

1. Cet article est tiré d'une étude réalisée en 2021 par Carbone 4, l'OFCE et NEO : Carbone 4, OFCE, NEO, *Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France*, 2021.

Les infrastructures publiques constituent un des piliers fondamentaux du tissu économique et social d'un pays. Pourvoyeur de services essentiels à la qualité de vie des populations tels que l'accès à l'eau, l'électricité, la mobilité et les services numériques, le secteur des travaux publics apparaît comme un secteur éminemment sensible dans le contexte de la crise climatique et des transformations qu'elle implique. En particulier, la question du rôle des infrastructures dans les politiques d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ses impacts constitue un enjeu clé pour les décennies à venir, tant d'un point de vue technique qu'économique et sociétal. En France, plusieurs documents cadres définissent les objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de transformation des systèmes énergétiques à l'horizon 2050 ainsi que les mesures à adopter en matière d'adaptation aux aléas climatiques : la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) et le Plan national d'adaptation au changement climatique comptent parmi les plus importants. Le rapport « Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation » publié par Carbone 4 (2022) présente un bilan, par type d'infrastructures, des investissements annuels en travaux publics nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés par ces documents selon deux scénarios distincts. Le premier, dit « Pro-Techno », se fonde essentiellement sur le déploiement d'innovations technologiques existantes et futures pour réduire l'empreinte carbone de la France tandis que le second, dit « Sobriété », repose sur un changement profond de nos modes vie, avec une limitation voire une réduction importante de la consommation de certains types de biens et services (e.g. véhicules individuels, transport aérien, technologies numériques...). Les deux scénarios ont été conçus de manière à aboutir à l'objectif de neutralité carbone en 2050 et à garantir le respect des budgets carbone définis par la SNBC à court et moyen terme².

Si ce rapport évalue de manière détaillée les quantités physiques de différents types d'infrastructures qu'il faudra construire ou maintenir à l'horizon 2050 dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété, la faisabilité de tels scénarios ne dépend pas seulement de déterminants physiques ou techniques (e.g. rythme de construction d'infrastructures, déploiement d'une innovation...), mais également de critères socio-

2. Le détail des narratifs de ces deux scénarios est présenté dans le tableau 2 en annexe.

économiques. Par exemple, si des scénarios d'investissements aboutissent à des effets très négatifs en termes d'activité ou d'emploi dans certains secteurs, ou créent de forts déséquilibres dans les chaînes de valeur, ils peuvent s'avérer plus difficiles voire impossibles à mettre en œuvre. De plus, le choix d'un scénario d'investissement plutôt qu'un autre devra prendre en compte ces facteurs socio-économiques, qui conditionnent le degré d'acceptabilité de ces scénarios par les ménages, les entreprises et les acteurs associatifs. Dans cette perspective, cet article a pour objectif d'évaluer les impacts socio-économiques des scénarios « Pro-Techno » et « Sobriété », et ce faisant, d'informer le débat public sur les décisions d'investissement en infrastructures dans le contexte de la transition bas-carbone en France.

Plusieurs travaux récents se sont intéressés à l'impact économique de décisions d'investissement en infrastructures intégrant des objectifs climatiques. Millner et Dietz (2015) ont par exemple utilisé un modèle d'évaluation intégrée pour étudier quelles décisions d'allocation des investissements dans les pays en développement – entre capitaux productifs traditionnels et capitaux adaptés aux impacts du changement climatique – minimiseraient les dommages climatiques dans les trois siècles à venir selon différents critères. Vogt-Schilb *et al.* (2018) ont cherché à caractériser les choix d'investissements optimaux en capitaux bas-carbone (échelonnement dans le temps, allocation sectorielle et coût des capitaux). Ils aboutissent à la conclusion que dans les secteurs où le potentiel de réduction d'émissions est le plus élevé et où les capitaux à faibles émissions sont les plus chers, les investissements requis par tonne de carbone sont plus importants et devraient être effectués de façon anticipée. Waisman *et al.* (2012) et Hamdi-Cherif *et al.* (2021) se sont intéressés aux politiques d'investissement en infrastructures de transport bas-carbone et à leur effet sur le coût macroéconomique des politiques climatiques. En utilisant un modèle d'équilibre général calculable, ils obtiennent que pour une même cible de réduction d'émissions, la hausse du prix du carbone requise est significativement moindre en présence de politiques de transport bas-carbone qu'en l'absence de telles politiques.

Dans le secteur du transport routier, Schweikert *et al.* (2014) ont utilisé un modèle de circulation générale couplé à l'outil Infrastructure Planning Support System (IPSS) pour évaluer le coût économique des aléas climatiques sur les infrastructures routières dans 10 pays durant les décennies 2050 et 2100, selon deux scénarios (avec ou en l'absence de mesures d'adaptation). Selon cette évaluation, les politiques

d'investissement optimales sont celles intégrant de manière proactive l'adaptation des réseaux routiers aux aléas climatiques. Dans le domaine de la prévention des risques d'inondation aux Pays-Bas, Haasnoot *et al.* (2019) ont également évalué quels choix d'investissements (construction de digues ou restauration du lit majeur des rivières) génèrent la plus grande valeur actualisée nette à différents horizons de temps (40 et 80 ans), en prenant en compte des coûts de transfert d'un choix d'investissement vers un autre.

D'autres travaux se sont attachés à quantifier les investissements en infrastructures nécessaires à l'atteinte d'objectifs de réduction des émissions de gaz à effet serre. Kennedy et Corfee-Morlot (2013), s'appuyant sur des travaux de l'AIE (2012) et de l'OCDE (2006 et 2012) ont réalisé une estimation des besoins annuels d'investissement en infrastructures à l'échelle mondiale dans un scénario bas-carbone (housse de température de 2°C en 2100), par rapport à un scénario de référence (jusqu'à 6°C de réchauffement), montrant que des choix d'investissements ciblés peuvent favoriser un cycle de croissance bas-carbone de l'économie à l'échelle globale. Rozenberg et Fay (2019) ont estimé que dans les pays du Sud, les coûts liés à la construction et à la maintenance de nouvelles infrastructures pourraient représenter entre 2 % et 8 % du PIB par an d'ici 2030, en incluant les secteurs de l'accès à l'eau et à l'assainissement, des transports, de l'électricité, de l'irrigation et de la protection contre les inondations. En France, Hainaut *et al.* (2019, 2020) ont effectué une évaluation détaillée des besoins d'investissement annuel compatibles avec les objectifs de la SNBC et de la PPE dans les secteurs du bâtiment, de l'énergie et des transports ainsi que des différents leviers de financement permettant de les réaliser. Selon cette étude, le montant annuel des dépenses de l'État devrait augmenter de 17 milliards d'euros à l'horizon 2028 pour répondre aux besoins d'investissement dans ces secteurs. Enfin, certaines publications fournissent une évaluation des impacts économiques de plans d'investissement en travaux publics : Schürenberg-Frosch (2014) a par exemple utilisé un modèle d'équilibre général calculable pour estimer les impacts macroéconomiques et sectoriels d'une hausse des investissements en infrastructures routières en Zambie. Les simulations effectuées montrent une hausse de la production dans le secteur des services publics, de la manufacture et de l'extraction minière et une baisse dans les services financiers, les services de transport et l'agriculture.

Toutefois, aucun des travaux cités précédemment ne s'appuie sur une estimation exhaustive des besoins physiques en infrastructures dans tous les secteurs des travaux publics et qui tienne compte d'objectifs environnementaux précis. De surcroît, aucune des évaluations économiques présentées n'inclut un détail des effets induits par secteur et par domaine d'activité des travaux publics. Notons enfin que jusqu'à présent, très peu d'études économiques intègrent à la fois des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des mesures d'adaptation aux aléas climatiques. L'objet du présent article est d'évaluer les impacts macroéconomiques et sectoriels de scénarios d'investissement en infrastructures compatibles avec les objectifs français d'atténuation et d'adaptation au changement climatique en considérant l'ensemble des activités de travaux publics.

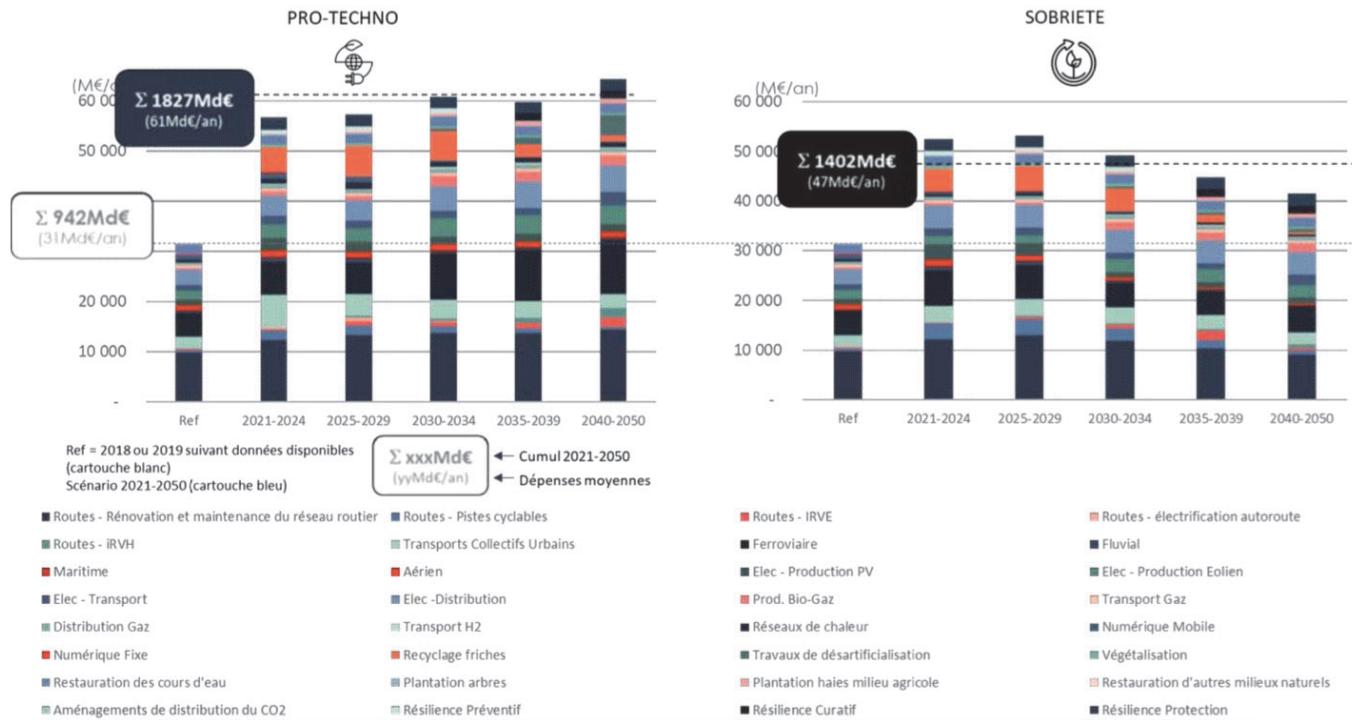
La section 1 décrit la répartition des investissements en infrastructures entre les différents segments d'activité des travaux publics puis détaille les montants d'investissements additionnels par activité dans les deux scénarios considérés. La section 2 présente ensuite le modèle utilisé et expose les principales hypothèses retenues avant d'analyser les résultats macroéconomiques et sectoriels obtenus dans chaque scénario à l'horizon 2050. Enfin, la section 3 dresse le bilan des impacts économiques des scénarios simulés et en tire les conclusions pour l'élaboration de politiques d'investissement en infrastructures adaptées aux enjeux climatiques.

1. Passage des infrastructures aux investissements par activité

Les investissements en infrastructures compatibles avec les objectifs climatiques de la France sont présentés par catégorie d'infrastructures qui sont réparties en trois volets : un volet « Réduction », qui comprend les secteurs de la mobilité, de l'énergie et du numérique, un volet « Restauration » qui comprend les activités de désartificialisation, de reforestation et de restauration des écosystèmes, et un volet « Résilience », qui comprend les mesures d'adaptation des infrastructures aux aléas climatiques³. Les montants d'investissement par catégorie d'infrastructures sont résumés dans le graphique 1, pour chacun des deux scénarios considérés.

3. Cette catégorisation reprend celle du rapport de Carbone 4 (2022) cité en introduction.

Graphique 1. Montants d'investissement par catégorie d'infrastructures dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété (milliards d'euros)



Carbone 4, OFCE, NEO (2021).

L'impact économique lié à la réalisation de ces infrastructures est évalué à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable (cf. section 2.1). Ce dernier utilise les données de la comptabilité nationale qui distinguent les secteurs des travaux publics selon le type d'activités et non selon le type d'infrastructures que ces secteurs contribuent à construire. Or, une infrastructure donnée demande l'intervention de différents métiers des travaux publics. Par exemple, les investissements en infrastructures ferroviaires incluent non seulement la pose de voies ferrées mais également une part importante de travaux de terrassement. Pour chaque volet, les montants d'investissements par type d'infrastructures (e.g. routes, pistes cyclables, réseaux électriques, stations de recharge d'hydrogène, etc.) ont donc été répartis entre les différentes activités des travaux publics retenues dans le modèle d'équilibre général. La représentation ci-dessous donne la répartition des montants d'investissements cumulés des volets Réduction, Restauration et Résilience entre les différents types d'activités pour chacun des scénarios.

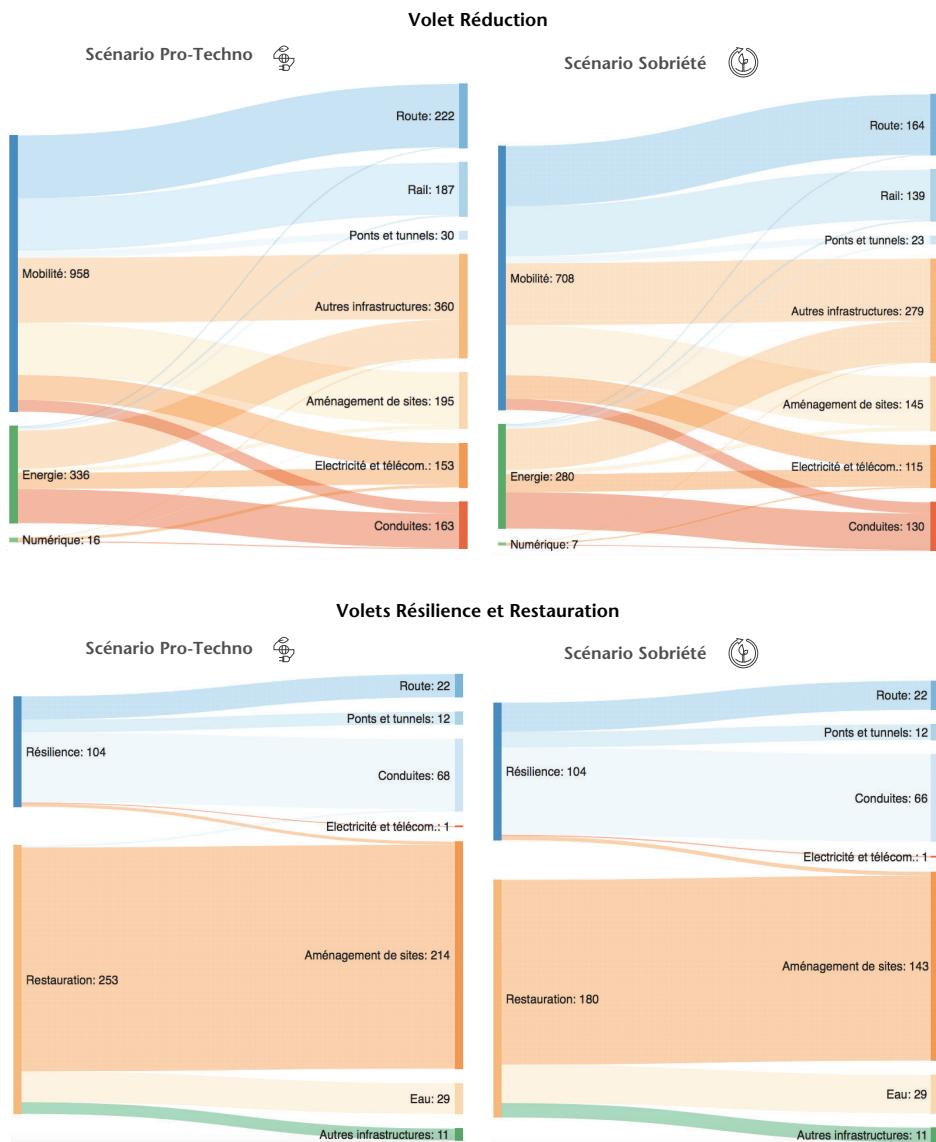
Le tableau présente la liste des secteurs des travaux publics (TP) et indique le poids de ces secteurs pour différents indicateurs économiques clé tels que la production, l'emploi, l'investissement et la consommation intermédiaire de biens et services⁴.

Les montants d'investissements par type d'infrastructures sont ainsi répartis entre les activités des TP énumérées ci-dessus. Pour faciliter la lecture des résultats, les sous-secteurs « Préparation de sites », « Démolition » et « Forage » sont par la suite agrégés en un seul et même secteur, sous la dénomination « Aménagement de sites ».

Pour mesurer l'impact économique d'un plan d'investissement en infrastructures compatible avec la SNBC, ne sont pris en compte dans la suite de cette étude que les investissements additionnels par rapport à un scénario sans ambitions bas-carbone. Cette approche évite ainsi de surestimer l'effet économique des programmes d'investissement. En particulier, elle intègre le fait qu'un scénario puisse aboutir à des baisses d'investissements.

4. Selon la base de données *Structural Business Statistics* : <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/ks-ra-07-015>

Graphique 2. Répartition des montants d'investissement cumulés sur 2021-2050 entre les différents secteurs des travaux publics (milliards d'euros)



Lecture : Pour chaque scénario, les chiffres indiqués sur ces diagrammes correspondent aux montants d'investissement cumulés en milliards d'euros sur la période 2021-2050, par type d'infrastructures et par activité des travaux publics. Les catégories situées à gauche correspondent à une classification des investissements par volet (i.e. par type d'infrastructures), celles situées à droite à une classification par activité des travaux publics. Au sein du volet Réduction, on distingue ici les investissements relatifs à la mobilité, à l'énergie, et au numérique.

Carbone 4, OFCE, NEO (2021).

Tableau. Secteurs des Travaux Publics – données économiques clés en 2018

Secteur Indicateur	Valeur de la production (%)	Nombre d'emplois en Équivalent Temps Plein (%)	Consommation intermédiaire de biens et services (%)	Investissement brut en biens corporels (%)
1. Route : Construction de routes et d'autoroutes	50,2 %	49,6 %	48,2 %	50,0 %
2. Rail : Construction de voies ferrées et de voies souterraines	1,1 %	1,0 %	1,1 %	1,6 %
3. Ponts et tunnels : Construction de ponts et de tunnels	0,9 %	0,8 %	0,9 %	0,5 %
4. Conduites : Construction de conduites	5,5 %	6,4 %	5,9 %	5,3 %
5. Électricité et télécom. : Construction de réseaux d'électricité et de télécommunications	6,5 %	8,7 %	5,9 %	7,4 %
6. Eau : Construction de projets hydrauliques	3,4 %	1,5 %	3,8 %	2,0 %
7. Autres infrastructures : Autres projets de génie civil	6,9 %	3,6 %	8,3 %	6,1 %
8. Démolition	1,8 %	1,9 %	1,9 %	0,9 %
9. Préparation de sites	23,0 %	25,9 %	23,4 %	25,1 %
10. Forage	0,8 %	0,7 %	0,8 %	1,0 %
Total Travaux Publics (millions d'euros)	58 812	251 015	38 511	3 295
Part des TP dans l'économie (%)	1,5 %	1,1 %	2,0 %	0,7 %

Structural Business Statistics, nomenclature NACE Rev.2.

Ainsi, les montants d'investissements annuels reportés ci-dessous, puis utilisés comme donnée d'entrée du modèle ThreeME, sont des surplus d'investissements par rapport aux investissements réalisés dans le scénario dit « de référence ». Le scénario de référence (également appelé scénario « Business-as-usual » ou « baseline ») fournit la trajectoire tendancielle des investissements en l'absence de la mise en œuvre des scénarios Pro-Techno ou Sobriété, autrement dit en l'absence de politiques compatibles avec le respect des objectifs de la SNBC. Les résultats des simulations macroéconomiques sont donc aussi comparés au scénario de référence : tous les résultats sont donnés en variations absolues ou relatives par rapport au scénario de référence. Ceci s'interprète par une augmentation ou une diminution de l'indicateur considéré (PIB, production, valeur ajoutée, emploi, etc.) en (pourcentage de) variation par rapport à sa valeur dans le scénario de référence pour la même période.

Le graphique 3 donne les montants des investissements additionnels en infrastructures des scénarios Pro-Techno et Sobriété par activité des travaux publics et pour les différents volets :

Graphique 3. Investissements additionnels par scénario et par secteur d'activité



Lecture : La première barre du graphique situé en haut à gauche indique qu'entre 2021 et 2025, 23 milliards d'euros par an supplémentaires sont investis dans le secteur des travaux publics dans le scénario Pro-Techno par rapport au scénario de référence. Carbone 4, OFCE, NEO (2021).

Les deux scénarios compatibles avec les objectifs de la SNBC considérés (Pro-Techno et Sobriété) impliquent une hausse des investissements dans les TP. Quelques différences importantes apparaissent toutefois entre les deux scénarios :

- Les montants d'investissements supplémentaires du scénario Pro-Techno sont supérieurs par rapport au scénario Sobriété : sur la période 2021-2050, 27 milliards d'euros par an⁵ dans le scénario Pro-Techno contre 14 milliards d'euros dans le scénario Sobriété ;

5. Cette valeur est inférieure de 2,5 milliards à celle déterminée dans le rapport de Carbone 4 (2022), qui est de 29,5 milliards d'euros. Ceci est dû au fait que les investissements dans les énergies renouvelables comptabilisés ici comprennent uniquement la part des travaux publics. Ils excluent donc les toitures photovoltaïques, et incluent uniquement 25 à 30 % du coût d'investissement total pour les autres énergies renouvelables. Il en est de même dans le scénario Sobriété : les investissements additionnels y sont donc aussi inférieurs à ceux estimés dans le rapport de Carbone 4.

- La trajectoire des investissements est aussi différente. Elle augmente au cours du temps dans le scénario Pro-Techno alors qu'elle atteint un point haut en 2030 avant de décroître dans le scénario Sobriété. Elle passe de 23 (resp. 20) à 32 (resp. 9) milliards d'euros entre 2021 et 2050 dans le scénario Pro-Techno (resp. Sobriété) ;
- Dans le scénario Pro-Techno, les investissements du volet Réduction croissent de manière relativement régulière, avec une hausse importante au début de la décennie 2030 et de la décennie 2040, principalement du fait d'un accroissement des montants investis dans les travaux ferroviaires et électriques. Dans le scénario Sobriété, les investissements de ce volet suivent une trajectoire similaire au scénario Pro-Techno jusqu'en 2030, mais les investissements décroissent fortement après 2030, en particulier dans le secteur des travaux routiers et le secteur ferroviaire du fait d'un besoin de mobilité inférieur ;
- Dans les deux scénarios étudiés, les investissements du volet Restauration comprennent une très large majorité de travaux d'aménagement de site. Ceux-ci incluent essentiellement des travaux de désartificialisation des sols et de recyclage des friches, ainsi que des travaux de terrassement liés à la végétalisation des villes, la plantation d'arbres et de haies bocagères et la restauration des zones humides et prairies. À la différence du scénario Pro-Techno, le scénario Sobriété n'inclut aucun investissement dans la distribution et le stockage du CO₂, ce qui explique pour partie que les montants soient globalement moins élevés dans ce scénario. Dans le scénario Pro-Techno, les montants additionnels dédiés aux travaux d'aménagements restent relativement stables sur la période d'étude (autour de 6 milliards d'euros additionnels par an) alors que ceux-ci diminuent significativement dans le scénario Sobriété après 2035, passant d'environ 5,5 milliards d'euros additionnels par an sur 2021-2035 à 2,5 milliards d'euros sur 2036-2050. Ceci s'explique par un effort important sur la première décennie suivie par une diminution importante des investissements additionnels dans le recyclage des friches entre 2030 et 2040 dans les deux scénarios. Cette diminution est compensée par une hausse des travaux de désartificialisation après 2030 dans le scénario Pro-Techno, mais pas dans le scénario Sobriété ;

- Les investissements du volet Résilience du scénario Sobriété sont identiques à ceux du scénario Pro-Techno du fait de l'hypothèse que les montants à engager pour l'adaptation des infrastructures aux impacts du changement climatique seront similaires dans les deux scénarios. Les investissements du volet Résilience présentent une trajectoire hétérogène selon les activités de travaux publics, liée au poids relatif des investissements préventifs et des dépenses curatives dans ces différents secteurs. Les travaux de construction de ponts et tunnels sont des investissements préventifs, et de ce fait, interviennent pour grande partie au cours des quinze premières années de la période d'étude (2021-2035). À l'inverse, les travaux routiers inclus dans le volet Résilience constituent des dépenses curatives si bien que leur part augmente rapidement entre 2030 et 2050 à mesure que s'intensifient les dommages induits par le changement climatique. La rénovation des conduites d'eau et l'aménagement de sites pour la construction de digues côtières et fluviales constituent également des investissements importants de ce volet et sont répartis de manière homogène sur 2021-2050 ;
- Dans le scénario Pro-Techno, la répartition de l'investissement total entre les trois volets met en évidence la part prépondérante du volet Réduction dans le total des montants investis sur la période 2021-2050 (près des deux tiers du total). Le volet Restauration compte pour près de 25 % du total et le volet Résilience pour seulement 13 %. Si le poids du volet Résilience dans l'investissement total reste relativement stable, les parts relatives des volets Réduction et Restauration varient de manière importante suivant les années. Ainsi, la part du volet Réduction augmente et passe d'environ 59 % des investissements sur la période 2021-2030 à 66 % sur 2041-2050. À l'inverse, la part du volet Restauration diminue et passe de 28 % du total investi sur la période 2021-2030 à 22 % sur la période 2041-2050. Dans le scénario Pro-Techno, le volet Réduction occupe donc une place croissante dans les investissements en travaux publics au fil des années, là où la part relative des volets Restauration et Résilience devient moindre ;
- Dans le scénario Sobriété, la répartition de l'investissement total entre les trois volets met en évidence des changements importants dans les choix d'investissements en infrastructures par rapport au scénario Pro-Techno, en particulier à partir de 2030. En effet, si le volet Réduction représente 56 % des investissements

sur la période 2021-2030, cette part décroît fortement dans les décennies suivantes pour atteindre 40% sur 2031-2040 et 30 % sur 2041-2050. Cela s'explique par une diminution marquée des investissements dans le secteur des travaux routiers et le secteur ferroviaire. Le volet Restauration constitue une part relativement stable des montants investis dans ce scénario, sa part relative passant de 28 % du total sur 2021-2030 à 33 % sur 2031-2040, avant de retomber légèrement – à 26 % – sur 2041-2050. Dans le même temps, le volet Résilience occupe une part croissante dans l'éventail des investissements, passant de 16 % sur 2021-2030 à 26 % sur 2031-2040, pour atteindre 43 % sur 2041-2050. Cette tendance s'explique par une forte baisse des montants investis dans les volets Réduction et Restauration après 2030, là où les investissements du volet Résilience augmentent progressivement entre 2021 et 2050 pour s'adapter aux aléas climatiques. Ainsi, la nature des investissements réalisés dans la décennie 2040-2050 apparaît profondément modifiée par rapport à la première décennie, et très différente du scénario Pro-Techno.

2. Impacts économiques

2.1. Cadre de modélisation : le modèle ThreeME

Afin de quantifier les impacts socio-économiques des scénarios d'investissements en infrastructures présentés dans les parties précédentes, nous utilisons ThreeME, un modèle d'équilibre général calculable destiné à l'évaluation des impacts économiques des politiques énergétiques et environnementales. Développé par l'ADEME (Agence de la Transition Écologique), l'OFCE (Observatoire Français des Conjonctures Économiques) et NEO (Netherlands Economic Observatory) depuis 2008, le modèle ThreeME a su jouer un rôle de premier plan en France au sein des débats inter-administratifs et interministériels concernant les questions relatives à l'évaluation macro-économique des politiques énergie-climat, que ce soit à travers la mobilisation de cet outil lors du Débat National sur la Transition Énergétique (DNTE), l'évaluation de scénarios de transition énergétique par l'ADEME ou encore la mise à disposition de cet outil au Ministère de la Transition écologique (MTE)⁶.

6. Dans une même optique et en partenariat notamment avec l'AFD ou le PNUD, ThreeME est utilisé dans d'autres pays et contextes régionaux : Mexique, Indonésie, Pays-Bas, Tunisie, Région Occitanie.

Afin de simuler les impacts économiques de scénarios d'investissement en infrastructures, le modèle a été adapté au contexte de l'étude. En effet, il est apparu important de représenter de manière détaillée les impacts des investissements sur les différents sous-secteurs des travaux publics. Dans le modèle, ces derniers étaient auparavant agrégés et regroupés avec le Bâtiment au sein du secteur de la Construction. Nous avons donc scindé le secteur de la construction en un secteur du Bâtiment d'une part, et en différents sous-secteurs des travaux publics d'autre part. Cette désagrégation a été effectuée à partir de la base de données *Structural Business Statistics*, qui fournit une décomposition du secteur de la Construction. Les secteurs des travaux publics concernent uniquement les secteurs relatifs au génie civil et à l'aménagement de sites. Les autres secteurs de la catégorie *Construction* ont été agrégés dans ThreeME au sein d'un secteur Bâtiment unique.

De manière à faciliter l'analyse, les autres secteurs de l'économie ont été répartis en cinq grands domaines d'activité : les Services, la Fabrication, l'Energie, l'Agriculture, et l'Immobilier (correspondant au secteur du Bâtiment). En comparant les scénarios d'investissement en infrastructures à un scénario de référence, le modèle permet d'estimer les impacts des investissements réalisés sur le produit intérieur brut ainsi que sur le chiffre d'affaires, la valeur ajoutée, l'emploi et l'investissement dans les différents secteurs de l'économie⁷.

2.2. Principales hypothèses, effet de multiplicateur, effet de richesse et effet de substitution

Dans les deux scénarios considérés, nous faisons l'hypothèse que le plan d'investissement est financé par de l'investissement public (État ou collectivités locales), ce qui est cohérent avec le fait que les actions financées sont d'intérêt public et sont prises en charge en grande part par l'État et ses services déconcentrés ainsi que par les collectivités locales. Cette hausse de l'investissement public a un effet positif à la fois direct et indirect sur l'activité économique. Elle se traduit par une hausse de l'activité dans les secteurs des travaux publics, avec pour effet indirect une hausse de l'activité dans d'autres secteurs auprès desquels se fournissent les secteurs des travaux publics. Cette croissance de l'activité entraîne par la suite une hausse de l'emploi, une

7. La description complète de ThreeME est accessible sur le site <http://www.threeme.org>. Pour plus d'informations concernant le modèle et ses applications, voir notamment Malliet *et al.* (2020), Landa *et al.* (2018), Bulavskaya et Reynès (2018) et Callonc *et al.* (2016).

augmentation du revenu des ménages et une hausse de la consommation ainsi qu'une hausse du taux d'intérêt. Cette série d'impacts est souvent appelée « effet de multiplicateur », car l'effet résultant sur le PIB est supérieur à l'investissement initial. Cette hausse d'activité est toutefois contrebalancée par une dégradation de la balance commerciale qui résulte de deux effets. Le premier provient d'un effet de richesse : la hausse de la demande est en partie satisfaite par la hausse des produits importés. Le deuxième provient d'un effet de substitution : la hausse de l'activité génère une hausse de l'inflation et donc une dégradation de la compétitivité par rapport aux producteurs étrangers. Ceci entraîne une hausse supplémentaire des importations et une baisse des exportations. Ces deux effets se retrouveront dans les résultats des simulations explicités plus loin.

Il est à noter que les hypothèses retenues dans le modèle sont prudentes concernant l'ampleur des effets positifs. En effet, le choc d'investissement conduit à une dégradation de la compétitivité et donc de la balance commerciale liée à la hausse des prix, conséquence de l'hypothèse selon laquelle la France est déjà au plein emploi et que les autres pays ne mènent pas de politique d'investissement similaire. Or, il apparaît que plusieurs pays ont déjà annoncé des programmes d'investissement ambitieux en infrastructures dans les années à venir dont, par exemple, le Royaume-Uni et les États-Unis. Par ailleurs, un certain nombre d'impacts positifs ne sont pas pris en compte dans notre simulation :

L'augmentation de la productivité et de l'attractivité de la France liée à l'amélioration de la qualité des infrastructures ;

- Les coûts évités (dommages climatiques notamment) ;
- Le focus sur les travaux publics et donc la non prise en compte d'impacts liés à la transition énergétique même comme la réduction des importations d'énergies fossiles ou les investissements en efficacité énergétique dans d'autres secteurs. Toutefois, nous réalisons une simulation supplémentaire qui permet de quantifier l'effet lié à la baisse des importations d'énergies fossiles.

Concernant l'effet du plan d'investissement sur la productivité et l'attractivité de la France, on peut notamment penser à l'impact du déploiement des technologies numériques sur la productivité du travail et du capital, qu'on suppose inchangée dans ces scénarios. De même, l'amélioration de la desserte en transports en commun, le développement du réseau de pistes cyclables, et la diminution corolaire de la

pollution liée à l'usage des véhicules à essence sont susceptibles d'avoir un effet positif majeur sur la qualité de vie de la population. Or, cette hausse de la qualité de vie pourrait réduire un certain nombre de coûts économiques majeurs (e.g. dépenses de santé liées aux décès prématurés), en plus d'accroître l'attractivité et la productivité de l'économie française.

Le modèle ne prend également pas en compte les gains d'efficacité dans l'usage des infrastructures qui résulteraient notamment de travaux de maintenance et de rénovation effectués. Par exemple, la rénovation des réseaux gaziers et des réseaux d'eau et d'assainissement peuvent conduire à une réduction importante des taux de fuites et des dépenses en résultant, ainsi qu'à une diminution de l'impact écologique lié à l'usage de ces infrastructures. De même, la maintenance des réseaux routiers permet de réduire la consommation de carburants des véhicules y circulant et de limiter les coûts économiques et écologiques associés. Enfin, l'atténuation des risques de dysfonctionnement des infrastructures peut permettre d'éviter des coûts économiques importants dans les décennies à venir.

La non-prise en compte de ces différents effets suggère que nos simulations tendent plutôt à sous-estimer les bénéfices économiques que des programmes d'investissement en infrastructures pourront générer. Nous présentons ci-après les impacts macroéconomiques et sectoriels simulés pour chacun des scénarios Pro-Techno et Sobriété qu'il faudra donc interpréter à la lumière des hypothèses conservatrices retenues.

2.3. Impacts macroéconomiques

Tout comme dans la partie présentant les montants des investissements additionnels par activité des travaux publics, sont exposés ci-dessous les impacts des scénarios d'investissement sur différents indicateurs économiques clés, en écart au scénario de référence (*i.e.* scénario sans investissement supplémentaire), en moyenne sur des intervalles de 5 ans, pour chacun des volets Réduction, Restauration et Résilience et pour les trois volets réunis.

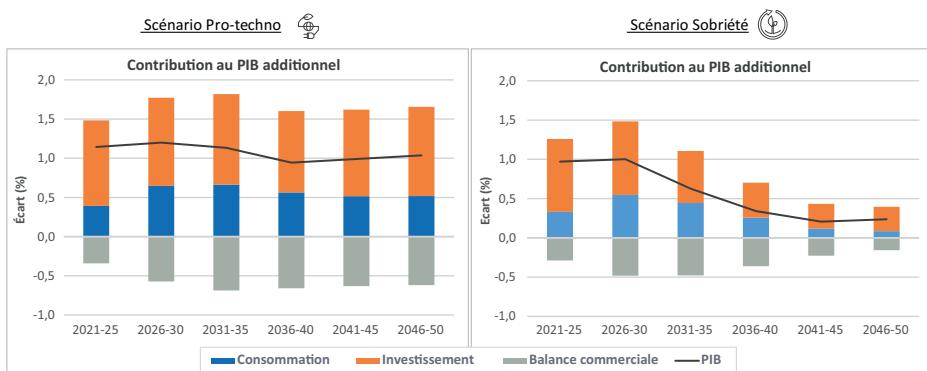
Dans le scénario Pro-Techno, les investissements en infrastructures suivent globalement une trajectoire ascendante entre 2021 et 2050 avec pour effet une hausse soutenue de l'activité économique tout au long de la période. Les investissements additionnels en infrastructures de ce scénario s'élèvent à 26,7 milliards d'euros par an en moyenne

entre 2021 et 2050, ce qui représente environ 0,9 % du PIB tendanciel de la France (*i.e.* dans scénario de référence). Dans le scénario Sobriété, les investissements additionnels en infrastructures s'élèvent à 13,8 milliards d'euros par an en moyenne entre 2021 et 2050, ce qui représente environ 0,5 % du PIB tendanciel de la France. L'effet de multiplicateur se traduit par le fait que la hausse du PIB résultant de chacun de ces scénarios est supérieure à la hausse initiale de l'investissement public. Ainsi, le PIB augmente de 1,1 % dans le scénario Pro-Techno, et de 0,6 % dans le scénario Sobriété.

Dans les deux scénarios, la hausse d'activité induit une dégradation de la balance commerciale du fait des effets de richesse (lié à la hausse des revenus) et de substitution (lié à la hausse des prix) décrits précédemment. Les deux scénarios conduisent en effet à une hausse non négligeable des prix à la production par rapport au scénario de référence (en moyenne 1,5 % dans le scénario Pro-Techno et 0,9 % dans le scénario Sobriété sur 2021-2050), qui se répercute sur les prix à la consommation et sur les prix des exportations. Ces hausses de prix sont une conséquence de la boucle prix-salaires : la hausse de l'emploi induite par les investissements additionnels en infrastructures entraîne successivement une augmentation des salaires, des prix à la production et des prix à la consommation, puis de nouveau une augmentation des salaires en réponse à la hausse des prix. Si le prix des exportations augmente dans les deux scénarios, le prix des importations reste en revanche inchangé puisque ces simulations ne prennent pas en compte d'hypothèse sur l'évolution de la production dans le reste du monde.

La dégradation de la balance commerciale est logiquement plus marquée dans le scénario Pro-Techno où l'impulsion économique est plus forte que dans le scénario Sobriété, en particulier après 2030. Ainsi, dans le scénario Pro-Techno, les importations augmentent de 1 % en moyenne sur la période 2021-2025 et de 1,4 % sur 2030-2050, contre 0,9 % et 0,6 % respectivement dans le scénario Sobriété. Sur ces deux mêmes périodes, les exportations diminuent de 0,1 % puis de 0,8 % dans le scénario Pro-Techno, contre 0,1 % et 0,5 % dans le scénario Sobriété. Cette dégradation de la balance commerciale a comptablement une contribution négative à l'évolution du PIB. Cet effet est de même ampleur dans les deux scénarios sur 2021-2025 (-0,3 % par rapport au scénario de référence), mais devient plus marqué dans le scénario Pro-Techno sur 2030-2050 (-0,6 % par rapport au scénario de référence, contre -0,3 % dans le scénario Sobriété).

Graphique 4. Contribution de la consommation, de l'investissement et de la balance commerciale au PIB additionnel dans les deux scénarios



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

En prenant en compte l'ensemble des effets (multiplicateurs et inflationnistes), le scénario Pro-Techno entraîne une hausse de PIB de 1,2 % en moyenne sur 2021-2030 et de 1 % sur 2030-2050, par rapport au scénario de référence. Dans le scénario Sobriété, la hausse du PIB est comparable sur 2021-2030 (1 % par rapport au scénario de référence), mais plus faible sur 2030-2050 (0,4 %).

Les effets positifs sur l'activité économique générés par ces deux scénarios font que la hausse du déficit public est modérée par rapport à l'ampleur du plan d'investissement : en moyenne + 0,2 point de PIB par an dans le scénario Pro-Techno et + 0,1 point de PIB par an dans le scénario Sobriété. Dans les deux scénarios, le déficit public augmente davantage dans les trois premières années en raison de la hausse des dépenses publiques, mais est rapidement résorbé après 2024 à mesure que se concrétisent les retombées économiques des investissements en infrastructures.

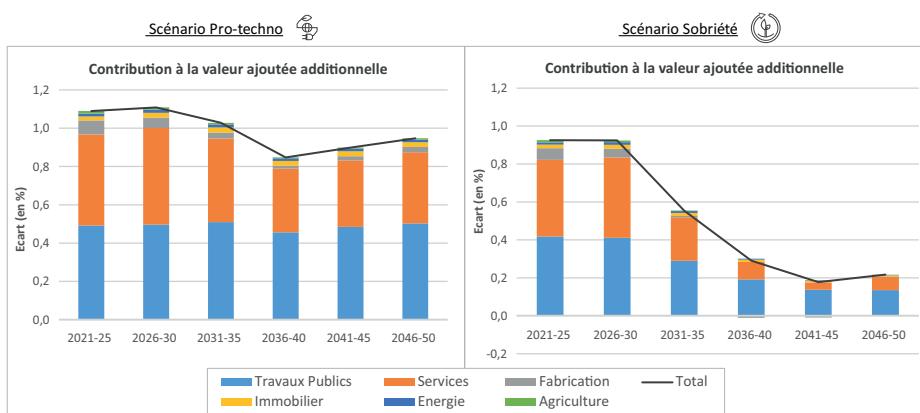
2.4. Résultats sectoriels

Impacts sur la valeur ajoutée

La décomposition des secteurs bénéficiaires de la hausse du PIB peut se voir dans la valeur ajoutée qui permet de mettre en évidence la traduction de cet impact du côté de l'offre. Cette décomposition montre que le secteur des travaux publics est l'un des principaux bénéficiaires dans les deux scénarios mais d'autres secteurs contribuent de manière non négligeable à la hausse de la valeur ajoutée. Ainsi, dans les

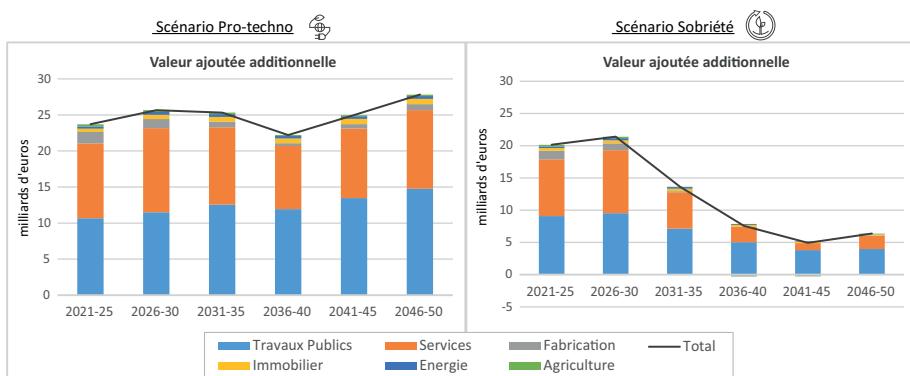
deux scénarios, la hausse de la valeur ajoutée concerne non seulement le secteur des travaux publics mais également le secteur des services. Ceci s'explique par le fait que le secteur des services est le principal fournisseur du secteur des travaux publics. La hausse d'investissement en infrastructures entraîne donc une hausse soutenue de l'activité et de l'emploi dans ce secteur. D'autres secteurs bénéficient, dans une moindre mesure, de la hausse d'activité induite par ces scénarios d'investissement – principalement le secteur de la fabrication, le secteur immobilier et l'agriculture. Dans le scénario Sobriété, on observe une légère baisse de la valeur ajoutée dans le secteur de la fabrication entre 2036 et 2045, mais celle-ci est compensée au niveau agrégé.

Graphique 5. Contribution des différents secteurs d'activité à la valeur ajoutée additionnelle dans les deux scénarios



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

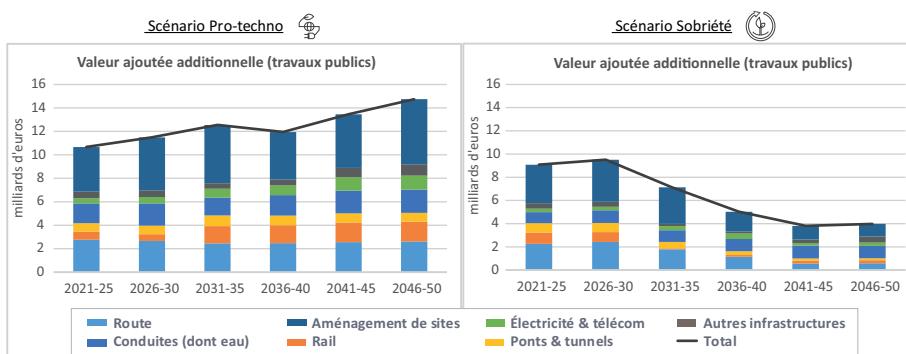
Graphique 6. Valeur ajoutée additionnelle par scénario et par secteur d'activité



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Au sein du secteur des travaux publics, les différents segments d'activité correspondent de manière différenciée à la hausse de la valeur ajoutée, suivant leur poids relatif dans l'investissement en infrastructures (graphique 7). Ainsi, le secteur de l'aménagement de sites contribue à hauteur de 42 % de la hausse de valeur ajoutée du secteur des travaux publics sur 2021-2050 dans les deux scénarios, tandis que les autres secteurs ont une contribution plus limitée (20 % pour le secteur de la route, 15 % pour le secteur des conduites, et environ 10 % pour la construction de ponts et de tunnels). La contribution du secteur de la route tend à diminuer après 2030 dans les deux scénarios, et plus particulièrement dans le scénario Sobriété (passant de 2,3 milliards sur 2021-2030 à 1 milliard supplémentaire sur 2031-2050). Dans le scénario Pro-Techno, le secteur ferroviaire et les travaux électriques contribuent de plus en plus à la hausse de valeur ajoutée après 2030, mais de moins en moins dans le scénario Sobriété (pour le ferroviaire en particulier).

Graphique 7. Valeur ajoutée additionnelle par scénario et par segment d'activité des travaux publics



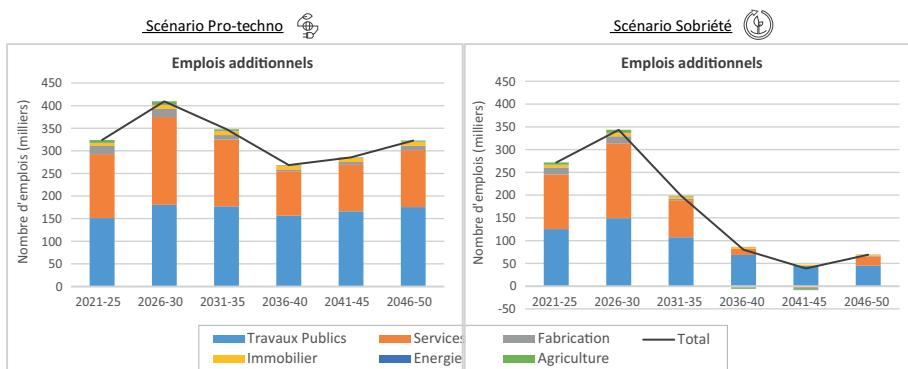
Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Impacts sur l'emploi

Dans les deux scénarios, les investissements en infrastructures conduisent à une hausse significative du nombre d'emplois dans l'économie française, conséquence de la hausse de valeur ajoutée explicitée précédemment. Le scénario Pro-Techno permet ainsi de créer 325 000 emplois supplémentaires sur la période 2021-2025, et 410 000 emplois supplémentaires entre 2026 et 2030 par rapport au scénario de référence. Le scénario Sobriété génère une hausse de l'emploi similaire sur ces périodes bien que légèrement inférieure

(270 000 emplois supplémentaires sur 2021-2025 et 340 000 sur 2026-2030). À partir de 2030, on observe cependant une divergence importante dans le nombre d'emplois créés. Dans le scénario Pro-Techno, les montants d'investissement se maintiennent à un niveau proche de ceux de la première décennie, ce qui se traduit par une hausse semblable de l'emploi entre 2030 et 2050 (environ 300 000 emplois). À l'inverse, le scénario Sobriété se caractérise par une diminution marquée des investissements à partir de 2030, ce qui conduit, dans les deux décennies suivantes, à une hausse plus limitée de l'emploi par rapport au scénario de référence (200 000 emplois supplémentaires entre 2031 et 2035, puis environ 60 000 emplois supplémentaires sur 2036-2050). Globalement, l'emploi suit donc la trajectoire d'investissement initial en travaux publics. L'impact est positif dans tous les secteurs à l'exception des métiers de la fabrication de produits et de l'agriculture où le nombre d'emplois baisse très légèrement lors de la décennie 2036-2045 (graphique 8).

Graphique 8. Emplois additionnels par scénario et par secteur d'activité

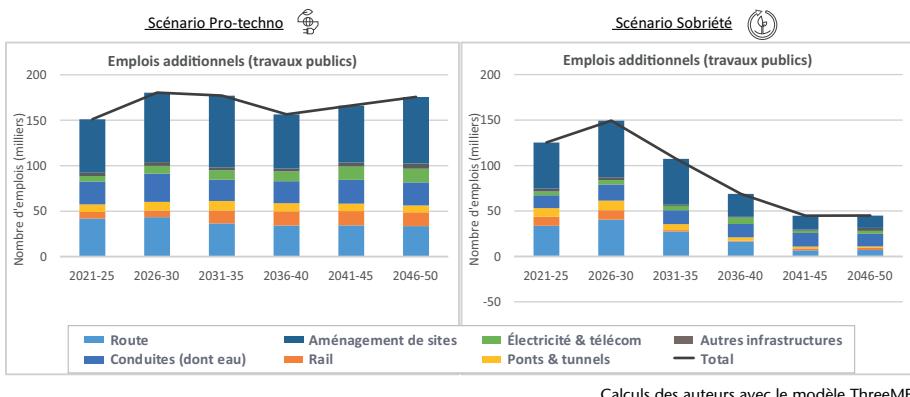


Calcul des auteurs avec le modèle ThreeME.

La répartition des emplois au sein du secteur des travaux publics montre que le secteur de l'aménagement de sites est le principal pourvoyeur d'emplois supplémentaires tout au long de la période d'étude et dans les deux scénarios (graphique 9). Les autres secteurs sont toutefois affectés de manière différente dans les deux scénarios. Au cours de la première décennie, l'emploi créé dans le secteur ferroviaire et des travaux électriques est d'abord limité dans le scénario Pro-Techno, puis augmente de manière continue dans les décennies suivantes. À l'inverse, dans le scénario Sobriété, les travaux ferroviaires et électriques

sont parmi les secteurs où la hausse de l'emploi est la plus marquée entre 2021 et 2030 mais celle-ci s'atténue fortement dans les deux décennies suivantes. Dans le secteur de la route, la hausse d'emploi se maintient à un niveau constant dans le scénario Pro-Techno mais diminue fortement dans le scénario Sobriété à partir de 2030.

Graphique 9. Emplois additionnels par scénario et par segment d'activité des travaux publics



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

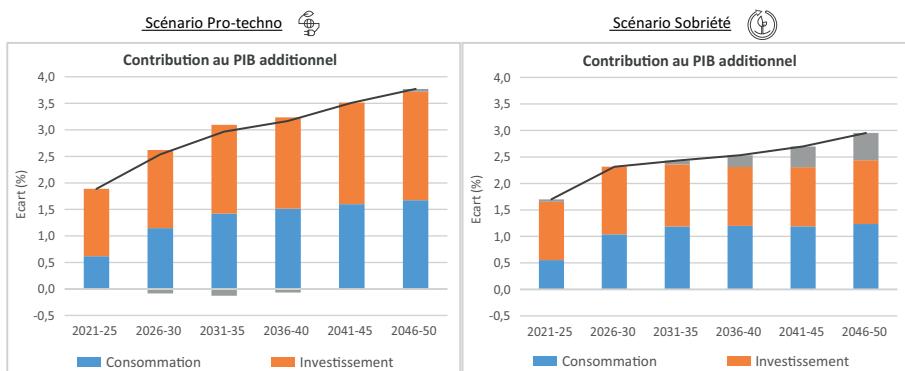
2.5. Impacts de la réduction des importations d'énergie

Il faut bien garder à l'esprit que les politiques de lutte contre le changement climatique ne se limitent pas au secteur des travaux publics. À titre d'exemple, les deux scénarios considérés conduiraient à une diminution drastique des importations d'énergie fossile (du fait notamment du développement des capacités de production d'énergie renouvelable sur le territoire national et d'une diminution de la consommation d'énergies fossiles) qui auront un effet positif majeur sur la balance commerciale. Nous faisons ici l'hypothèse d'une réduction de 75 % des importations d'énergie de la France à l'horizon 2050, conformément à la trajectoire d'évolution du *mix* énergétique supposée dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété. Cette « souveraineté énergétique » induit un effet positif sur la balance commerciale et donc sur l'économie française qui n'est pas pris en compte dans les simulations présentées ci-dessus.

En prenant en compte cet effet, les bénéfices des deux scénarios d'investissement se révèlent largement supérieurs, tant du point de vue du PIB, du chiffre d'affaires que de l'emploi (graphiques 10 et 11). De plus, on constate que là où les effets positifs de ces investissements

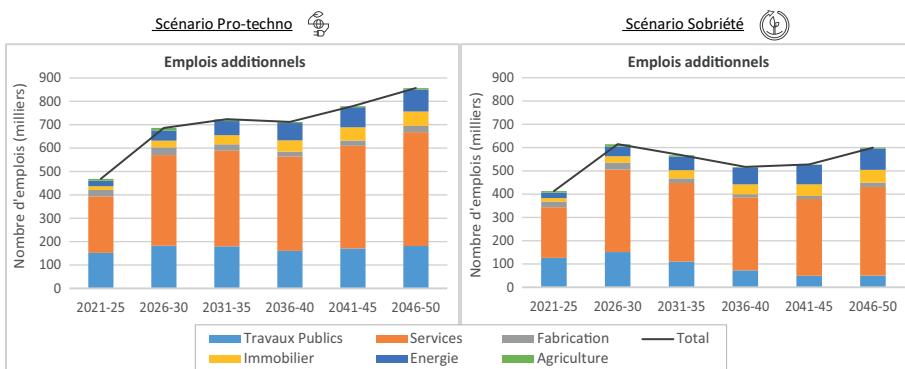
avaient tendance à s'atténuer dans le scénario Sobriété en l'absence d'hypothèse sur les importations, ces effets apparaissent durables et soutenus lorsque l'on prend en compte cette hypothèse. Les différences d'impact économique entre les deux scénarios après 2030 et 2050 sont donc aussi à mettre en perspective avec une plus grande indépendance énergétique qui constitue un facteur supplémentaire de soutien à l'activité économique et à l'emploi dans les deux scénarios. En particulier, la balance commerciale s'améliore considérablement après 2030 dans le scénario Sobriété, par rapport au scénario de référence. Dans le scénario Pro-Techno, cette amélioration de la balance commerciale survient également mais est néanmoins beaucoup plus mesurée.

Graphique 10. Contribution de la consommation, de l'investissement et de la balance commerciale au PIB additionnel avec l'hypothèse de diminution des importations d'énergie



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Graphique 11. Emplois additionnels par scénario et par secteur d'activité avec l'hypothèse de diminution des importations d'énergie



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

3. Conclusion et perspectives

Tant dans un scenario Pro-Techno que dans un scénario Sobriété, l'atteinte des objectifs de la SNBC pourrait nécessiter une hausse des investissements et en particulier des investissements en infrastructures. Bien que ces investissements puissent être réalisés en partie ou en totalité par le secteur privé, l'étude menée dans le présent article se concentre sur le cas d'investissements dans les travaux publics et ignore en particulier les besoins d'investissement dans les équipements privés (e.g. logements, industrie, etc.). La hausse des investissements considérée a un effet positif sur l'activité économique en France, conséquence du fait que les investissements en infrastructures sont en grande partie produits par l'économie nationale :

- Les impacts économiques des scénarios Pro-Techno et Sobriété sont comparables entre 2021 et 2030. Ils divergent significativement après 2030 à l'image des trajectoires différentes des plans d'investissement dans les deux scénarios ;
- Dans les deux scénarios, les investissements en infrastructures produisent une hausse d'environ 1 point de PIB par rapport au scénario de référence pendant la première décennie, et génèrent entre 330 000 et 400 000 emplois supplémentaires selon le scenario. Par la suite, sur la période 2030-2050, les impacts économiques apparaissent plus importants dans le scénario Pro-Techno que dans le scénario Sobriété. Le scénario Pro-Techno induit une hausse de PIB proche de 1,2 % par rapport au scénario de référence, tout comme dans la décennie précédente alors que dans le scénario Sobriété, la hausse de PIB s'atténue fortement bien que restant non négligeable (autour de 0,4 % par rapport au scénario de référence). Sur cette même période, la hausse de l'emploi se maintient autour de 300 000 emplois supplémentaires dans le scénario Pro-Techno mais devient plus modérée dans le scénario Sobriété (entre 50 000 et 150 000 emplois additionnels) ;
- Près de la moitié des emplois sont créés dans les secteurs des Travaux Public (TP). Cela met en évidence l'effet d'entraînement des TP sur le reste de l'économie, en particulier sur les secteurs des services, principaux bénéficiaires des emplois créés restants ;
- Ces effets positifs sur l'activité économique induisent une hausse relativement faible du déficit public par rapport à l'ampleur du plan d'investissement : en moyenne + 0,2 point de PIB par an

dans le scénario Pro-Techno et + 0,1 point de PIB par an dans le scénario Sobriété, alors que le plan d'investissement dans ces scénarios est respectivement de 0,9 et 0,5 point de PIB en moyenne.

Il est probable que les effets économiques positifs des plans d'investissement en infrastructures soient sous-estimés. Afin de focaliser l'analyse sur les TP, des hypothèses prudentes ont été retenues et certains impacts n'ont pas été considérés :

- Les coûts liés au changement climatique évités ne sont pas inclus. Or, la politique de lutte contre le changement climatique est en premier lieu motivée par l'évitement des dommages futurs dont les montants estimés dépassent largement les investissements en jeu dans la présente étude. Une étude récente de la Fédération Française de l'Assurance estime que le coût économique des aléas climatiques est amené à doubler dans les 30 ans à venir. Les dégâts cumulés causés par des aléas naturels pourraient ainsi s'élever à 143 milliards d'euros sur la période 2020-2050, contre 74 milliards d'euros sur 1989-2019⁸ ;
- L'amélioration de la qualité des infrastructures et leur mise en cohérence avec des objectifs environnementaux soutenables sont susceptibles de générer des externalités économiques positives qui ne sont pas prises en compte ici. Il s'agit notamment de l'augmentation de l'attractivité de la France ou de la productivité des activités économiques ;
- Nous n'avons pas considéré non plus certains impacts économiques positifs liés à la transition bas carbone car ils ne sont pas directement imputables aux scénarios d'investissement en infrastructures considérés ici : par exemple, les investissements d'efficacité énergétique dans les autres secteurs, ou encore l'activité économique en dehors des TP générée par le développement des énergies renouvelables. Or ces impacts sont potentiellement importants comme le fait apparaître notre simulation d'une réduction des importations d'énergie fossile qui aboutit à une hausse du PIB d'environ deux points supplémentaires ;

8. Fédération Française de l'Assurance, octobre 2021, *Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050*, p. 29. https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/VF_France-Assureurs_Impact-du-changement-climatique-2050.pdf

- Enfin, nous n'avons pas pris en compte les bénéfices liés à l'amélioration de l'indépendance énergétique que permet la transition bas carbone dans un pays importateur d'énergie fossile comme la France. Cet effet se révèle de plus en plus pertinent du fait de la baisse continue du coût des énergies renouvelables alors que ces dernières années sont marquées par une forte volatilité du prix des énergies fossiles.

Les impacts économiques agrégés simulés sont relativement similaires entre les scénarios Pro-Techno et Sobriété bien qu'une divergence apparaisse surtout après 2030. Cette dernière est la traduction directe de montants d'investissements plus importants dans le scénario Pro-Techno qui génèrent donc une activité économique supérieure. Il faut toutefois garder à l'esprit que notre simulation n'intègre pas l'ensemble des effets économiques sous-jacents à chaque scénario. Le choix entre les scénarios Pro-Techno et Sobriété ne peut donc se faire uniquement sur la base de la différence en termes d'impacts directs de PIB. C'est avant tout un choix sociétal et donc politique :

- Les scénarios Pro-Techno et Sobriété impliquent des choix d'investissement en infrastructures très différents après 2030, qui sont le reflet de deux choix de société distincts. Le scénario Pro-Techno repose essentiellement sur des innovations technologiques pour réaliser la transition écologique de la France, impliquant une hausse soutenue de l'investissement jusqu'en 2050, tandis que le scénario Sobriété repose davantage sur des actions de restauration des milieux et d'adaptation aux impacts du changement climatique après 2030, impliquant une hausse plus limitée de l'investissement après cette date mais également des changements sociaux et comportementaux majeurs (baisse de la consommation notamment) ;
- Certains effets importants contingents à chaque scénario ne sont pas considérés dans les simulations. Il s'agit notamment des bénéfices liés aux « biens publics » que sont la restauration des espaces naturels, la pollution de l'air, la pollution sonore. Ces derniers peuvent avoir un impact considérable sur l'économie, le bien-être social et l'environnement ;
- Ainsi, le scénario Sobriété, dans lequel les infrastructures lourdes occupent une place moins importante au profit d'actions de restauration écologique et d'infrastructures vertes, est susceptible

de générer des bénéfices plus importants que le scénario Pro-Techno sur ces aspects.

Si nos simulations font apparaître des effets économiques positifs notamment sur l'emploi, les scénarios Pro-Techno et Sobriété impliquent des mutations dans les différents secteurs de l'économie en particulier dans les secteurs des TP :

- Nos simulations mettent en évidence dans différents secteurs une hausse nette de l'emploi. Cela indique que les créations d'emplois dans un secteur donné sont supérieures aux destructions d'emplois dans ce même secteur. Ce résultat n'est possible que si les entreprises parviennent à adapter leurs offres aux nouveaux besoins d'investissement des scénarios Pro-Techno et Sobriété. La question des mutations d'activité et de métiers au sein des secteurs de TP mais aussi des autres secteurs économiques dans chaque scénario bas carbone est donc une question-clé ;
- Les plans d'investissements en infrastructures compatibles avec une stratégie bas carbone impliqueront très certainement des besoins de formation à de nouveaux métiers, des modifications d'activité dans les secteurs des TP ou des adaptations des marchés publics qu'il est important d'anticiper. À défaut les besoins d'investissement en infrastructures liés à la transition bas carbone se trouveraient contraints par une offre inadaptée ;
- Cette question de la mutation des activités et des métiers en particulier dans les TP, qui est d'ordre microéconomique, n'a pas été traitée ici. Elle constituerait une étude complémentaire et particulièrement pertinente au travail actuel.

Si la hausse de l'activité permet de limiter la dégradation des comptes publics, la question du financement d'un tel plan d'investissement en infrastructures se pose, d'autant plus dans le contexte de la hausse de l'endettement public à la suite de la crise de la Covid-19 :

- Les hauts niveaux d'endettement en France et en Europe accumulés depuis la crise financière de 2008 et la crise de la Covid-19 risquent de peser sur les choix d'investissement en infrastructures à venir,
- Un consensus semble toutefois émerger sur la nécessité de financer en priorité les investissements bas-carbone. Cette stratégie est vue à la fois comme une mesure de soutien à l'activité

économique dans un contexte de crise et comme une manière de positionner l'Europe comme un des leaders concernant les technologies du futur ;

- La mise en œuvre des projets d'infrastructure sera probablement conditionnée par leur compatibilité avec un scénario de transition bas carbone. Leur financement pourrait alors bénéficier des revenus générés par la création des nouvelles ressources qui sont en discussion telles que la taxe carbone nationale ou un mécanisme européen d'ajustement carbone aux frontières ;
- La question du financement mériterait un plus long développement et notamment une mise en perspective au niveau européen et une approche plus détaillée sur les modalités possibles de financement. L'État devra prendre sa part de l'effort supplémentaire mais aussi inciter fortement les autres acteurs (collectivités territoriales, opérateurs publics ou privés) à investir dans les infrastructures. Il y a trois principales modalités de financement possibles : directement par le contribuable (*via* une hausse d'impôt ou la réduction d'autre dépenses publiques), par l'usager (*via* des redevances ou péages), ou par la hausse de la dette publique. Le développement de modes de financement innovants pourrait aussi bénéficier aux politiques d'infrastructures. Dans le domaine de la gestion de l'eau par exemple, des dispositifs d'aide ou de redevances liés aux services rendus peuvent être envisagés de manière à ce que des usagers ou collectivités puissent financer en commun des actions de protection des milieux aquatiques ou de prévention des aléas naturels : e.g. aménagement de zones d'expansion de crues, forages alternatifs pour protéger une nappe phréatique surexploitée, entretien des voiries, soutien à des pratiques agricoles moins polluantes ou favorisant la recharge de nappes, etc.

Références

Bulavskaya T. et Reynès, F., 2018, « Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands », *Renewable energy*, n° 119, p. 528-538.

Callonnet G., Landa Rivera G., Malliet P., Saussay A. et Reynès F., 2016, « Les propriétés dynamiques et de long terme du modèle ThreeME »,

- Observations et diagnostics économiques. Revue de l'OFCE, Vol.149 (5), p. 47-99.*
- Carbone 4, 2022, *Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation.*
- Carbone 4, OFCE, NEO, 2021, *Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France.*
- Fédération Française de l'Assurance, 2021, *Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050, p. 29. https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/VF_France-Assureurs_Impact-du-changement-climatique-2050.pdf*
- Haasnoot M., Van Aalst M., Rozenberg J., Dominique K., Mattheus J., Kind J. et LeRoy Poff N., 2020, « Investments under non-stationarity: economic evaluation of adaptation pathways », *Climatic change*, Vol.161 (3), p. 451-463.
- Hainaut H. et Ledez M., 2019, *Besoins d'investissement SNBC & PPE, I4CE.*
- Hainaut H., Ledez M., Perrier Q., Leguet B. et Geoffron P., 2020, « Relance : comment financer l'action climat », I4CE.
- Hamdi-Cherif M., O'Broin E. et Li J., 2021, « The transportation sector as a lever for reducing long-term mitigation costs in China », *Climate Policy*, published online 18 Feb 2021. doi.org/10.1080/14693062.2020.1867491
- IEA, 2012, *Energy Technology Perspectives*, OECD Publishing, Paris.
- Kennedy C. et Corfee-Morlot J., 2013, « Past performance and future needs for low carbon climate resilient infrastructure– An investment perspective », *Energy policy*, Vol. 59, p. 773-783.
- Landa G., Malliet P., Reynés F. et Saussay A., 2018, « The state of applied environmental macroeconomics », *Revue de l'OFCE*, n° 157.
- Malliet P., Reynès F., Landa G., Hamdi-Cherif M. et Saussay A., 2020, « Assessing Short-Term and Long-Term Economic and Environmental Effects of the Covid-19 Crisis in France », *Environmental & resource economics*, Vol. 76 (4), p. 867-883.
- Millner A. et Dietz S., 2015, « Adaptation to climate change and economic growth in developing countries », *Environment and Development Economics*, Vol. 20, n° 3, pp. 380-406.
- NACE Rev. 2, 2008, « Statistical classification of economic activities in the European Community », *Eurostat, Methodologies and Working papers. European Commission.*
- OECD, 2006, *Infrastructure to 2030: Telecom, Land Transport, Water and Electricity*, OECD Publishing, Paris.
- OECD, 2012, *Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030*, OECD Publishing, Paris.
- Rozenberg J., Fay M. (Eds), 2019, *Beyond the Gap : How Countries Can Afford the Infrastructure They Need while Protecting the Planet. Sustainable*

- Infrastructure.* Washington, DC, World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31291> License: CC BY 3.0 IGO
- Schürenberg-Frosch H., 2014, « Improving Africa's Roads: Modelling Infrastructure Investment and Its Effect on Sectoral Production Behaviour », *Development policy review*, Vol. 32 (3), p. 327-353.
- Schweikert A., Chinowsky P., Kwiatkowski K. et Espinet X., 2014, « The infrastructure planning support system: Analyzing the impact of climate change on road infrastructure and development », *Transport policy*, Vol. 35, p. 146-153.
- Vogt-Schilb A., Meunier G. et Hallegatte S., 2018, « When starting with the most expensive option makes sense: Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment », *Journal of environmental economics and management*, Vol. 88, p. 210-233.
- Waisman H., Guiavarch C., Grazi F. et Hourcade J.-C., 2012, « The Imaclim-R model: infrastructures, technical inertia and the costs of low carbon futures under imperfect foresight », *Climatic change*, Vol. 114 (1), p. 101-120.

Remerciements

Cet article est basé sur un travail effectué dans le cadre d'une étude intitulée « Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France » et réalisée par Carbone 4, l'OFCE et NEO. En particulier, ce travail utilise les résultats du chapitre 1 rédigé par Carbone 4 et intitulé « Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation ».

Cette étude a été rendue possible grâce au concours (données d'activités, entretiens d'experts et financement) de la Fédération Nationale des Travaux Publics.

Les auteurs remercient également l'ADEME pour les données et éclairages apportés tout au long de cette étude.

ANNEXE

Narratifs des scénarios Pro-techno et Sobriété

	Pro-Techno	Sobriété
Axes structurants	Miser sur des innovations technologiques qui alimentent la croissance du PIB et de la consommation tout en diminuant significativement les impacts environnementaux	Miser sur des évolutions sociales et sociétales , accompagnée d'une diminution pilotée de la consommation
Philosophie générale	<p>Hausse des flux entrants (ressources et énergie)</p> <p>Découplage entre PIB et consommations de ressources et des impacts environnementaux</p> <p>Économie mondiale spécialisée, progrès technique, technologie, investissements, mobilité forte</p> 	<p>Baisse des flux entrants (ressources et énergie)</p> <p>Diminution pilotée de la consommation, fléchage vers les secteurs essentiels à la transition bas-carbone et à l'emploi</p> <p>Circuits courts, économie circulaire, transition vers une économie de la fonctionnalité, mobilité douce</p> 
Climat	Changement climatique stoppé sous la barre des +2°C d'ici la fin du siècle Anticipation et atténuation de la plupart des événements climatiques extrêmes	
Population	Hausse de la population liée au vieillissement et à la poursuite de l'augmentation de l'espérance de vie	
PIB	Croissance économique significative et maintenue grâce à un découplage entre PIB et émissions qui compense largement la hausse d'activité	Augmentation de l'activité fléchée avant tout vers les secteurs jugés essentiels à la transition bascarbone de l'économie et à l'emploi
Environnement socio-économique	Hausse de la consommation. Inégalités géographiques et sociales tempérées sans être réduites, par la croissance et la redistribution	Baisse du niveau de consommation moyen. Réduction forte des inégalités via la redistribution et l'organisation autour des secteurs essentiels
Dynamiques territoriales	Poursuite de l'urbanisation et densification des villes, disparité de la connectivité entre centres et périphéries/espaces ruraux et potentielles inégalités sociales associées	Rapprochement entre les zones d'activité et les zones résidentielles, décentralisation et désurbanisation des grandes villes au profit de zones urbaines de petite à moyenne taille et circuits courts
Mobilité	Baisse supérieure à la moyenne historique de l' intensité carbone de l'énergie (véhicule électrique, hydrogène) et efficacité énergétique (motorisation et allégement des véhicules)	Décarbonation par le report modal vers des modes moins carbonés (train, vélos), la hausse du taux de remplissage (mobilité partagée) et dans une moindre mesure la diminution du trafic
Énergie	Découplage PIB-énergie accéléré grâce à la technologie (smart grid), mix majoritairement décarboné, essor des systèmes de capture et séquestration ou utilisation du carbone	Amélioration de l' efficacité énergétique plus modérée et transition vers les ENR, décentralisation de la production d'énergie, sobriété des usages.
Technologie et numérique	Poursuite de la forte hausse du numérique en faveur d'une baisse des émissions et d'économie de ressources. Apparition de multiples nouveaux usages. Augmentation du niveau d'investissement R&D au sein des entreprises	Technologies déployées favorisant la limitation de l'usage de ressources et des émissions. Priorité à la durabilité, la réparation, l'économie collaborative et de la fonctionnalité. Niveaux d'investissement R&D plus modérés et fléchés vers les secteurs les plus carbonés catégorisés services essentiels
Renaturation	Approche productiviste : augmentation modérée des surfaces forestières. Gestion intensive pour maximiser la production et satisfaire la demande des filières bois-construction et bois énergie	Approche conservationniste : augmentation importante des surfaces forestières. Exploitation limitée pour favoriser la croissance naturelle et la protection de la biodiversité
Artificialisation	Demande stable en nouvelles constructions. Impacts de l'artificialisation limités par une modification des pratiques, réutilisation des friches et recours à la désartificialisation	Faible volume de nouvelles constructions, concentrées sur les friches existantes. Peu de nouvelles surfaces artificialisées
CCS	Développement proactif, poussé par des subventions et des investissements importants des acteurs de l'énergie.	Posture attentiste, technologies employées selon les progrès réalisés sur leur efficacité et leur coût.

TETE, UN OUTIL EN LIBRE ACCÈS POUR ESTIMER LES EMPLOIS GÉNÉRÉS PAR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

PRÉSENTATION ET APPLICATION AU SCÉNARIO NÉGAWATT 2022

Philippe Quirion

CIRED, CNRS

Nous présentons l'outil TETE, en libre accès, destiné à évaluer les emplois générés par différentes activités liées à la transition écologique. Basé sur le tableau entrées-sorties, cet outil permet de prendre en compte les emplois directs et indirects. Nous présentons un exemple d'utilisation de cet outil : la quantification du nombre d'emplois dans les énergies renouvelables et la rénovation thermique des bâtiments, en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt 2022.

Mots clés : emploi, input-output, énergies renouvelables, scénario.

Dans le débat public sur les politiques climatiques, la question de l'emploi est fréquemment mobilisée, que ce soit pour pousser des politiques plus ambitieuses ou pour les freiner. De multiples évaluations chiffrées sont publiées, basées sur des méthodologies diverses et pas toujours transparentes. Dans ce contexte, il est apparu intéressant de développer un outil en accès libre, à la méthodologie transparente, qui permet d'évaluer les emplois générés par un scénario portant sur la transition écologique, ou en tout cas sur certains aspects de celle-ci. L'outil TETE¹, présenté dans cet article, vise à répondre à ce besoin. Il couvre les secteurs de l'énergie, des transports, des bâtiments et des déchets.

1. TETE est l'acronyme de « Transition Écologique Territoire Emploi ». L'outil, propriété de l'Ademe et du Réseau Action Climat, est mis à disposition selon les termes de la licence « Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale – Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International », sur le site <https://territoires-emplois.org>.

Différentes méthodes ont été utilisées pour étudier l'effet sur l'emploi des politiques énergétiques ou environnementales, et le choix d'une méthode nécessite un arbitrage entre la finesse dans la représentation des options techniques mobilisées, la transparence de la méthode et la richesse des mécanismes économiques pris en compte. Certaines études se concentrent sur les emplois directs (par exemple les études « Marchés et emplois » de l'Ademe (2021a)), ceux situés dans les branches dont la production est directement affectée – par exemple la branche automobile pour la transition vers le véhicule électrique. D'autres (par exemple Perrier et Quirion, 2017 ; Markandya *et al.*, 2016) intègrent également les emplois indirects (par exemple ceux situés chez les fournisseurs des constructeurs automobiles, les fournisseurs de ces derniers, etc.). D'autres encore prennent en compte les effets dans l'ensemble de l'économie, à l'aide d'un modèle d'équilibre général comme Three-ME (Malliet *et al.*, 2020 ; Bulavskaya et Reynès, 2018) ou Imaclim (Cassen *et al.*, 2018).

Se limiter aux emplois directs permet potentiellement de s'affranchir des limitations de la comptabilité nationale en menant des enquêtes technico-économiques, mais le choix des branches couvertes est variable, ce qui rend difficile la comparaison entre les résultats des différentes études. Pour garder l'exemple de la transition vers le véhicule électrique, faut-il considérer comme emplois directs seulement ceux dans la construction automobile, ou aussi ceux dans la fabrication des batteries, la maintenance, l'installation des bornes de recharge, les stations-service ? Différentes études feront typiquement des choix différents sur ces points, d'où des résultats difficiles à comparer.

À l'autre extrême, un modèle d'équilibre général a pour lui la richesse des rétroactions économiques représentées et la prise en compte de l'ensemble des branches de l'économie, mais son fonctionnement est difficile à comprendre pour qui n'est pas macroéconomiste.

L'outil TETE adopte un positionnement intermédiaire : il prend en compte les emplois indirects, en utilisant le tableau entrées-sorties (TES) de la comptabilité nationale, mais n'intègre pas les rétroactions macroéconomiques qu'on trouve dans les modèles d'équilibre général. Cela permet une représentation relativement fine des techniques mobilisées (car le TES utilisé distingue 139 branches²) et une méthode

2. Il s'agit du TES symétrique en 139 branche pour l'année 2015, réalisé par l'INSEE.

transparente, toutes les étapes des calculs étant disponibles dans un tableur, et documentées.

Depuis sa diffusion en janvier 2018, l'outil TETE a fait l'objet de plus de 1 800 téléchargements et de diverses utilisations, dont une partie a donné lieu à des publications³. Parmi les utilisateurs, on compte des entreprises, des associations, des administrations et des collectivités territoriales.

De nombreuses études ont évalué les créations d'emplois liées à la transition énergétique, et particulièrement celles liées aux énergies renouvelables. Comme le montrent Cameron et Van Der Zwaan (2015), qui les passent en revue, les chiffres obtenus diffèrent largement, en particulier parce que ces études portent sur des territoires ou des années différentes, ou encore parce que certaines ne prennent en compte que les emplois directs et d'autres également les emplois indirects – sans oublier que la définition de ce qu'est un emploi direct varie entre les études. Nonobstant ces remarques, il est possible de comparer les ratios d'emplois issus de l'outil TETE avec ceux des études passées en revue par Cameron et Van Der Zwaan (2015).

Concernant l'éolien terrestre, pour l'année 2015, TETE aboutit à un ratio de 11 emplois directs et indirects équivalent temps plein (ETP) par MW pour la phase d'investissement (fabrication et installation), et 0,2 ETP/MW/an pour la phase de fonctionnement (opération et maintenance). Les études recensées par Cameron et Van Der Zwaan (2015) fournissent une fourchette très large : respectivement 2,6 à 16 ETP/MW pour l'investissement et 0,1 à 0,6 ETP/MW/an pour le fonctionnement – chiffres qui n'incluent généralement que les emplois directs. Les deux études qui incluent également les emplois indirects aboutissent à 15 et 16 ETP/MW pour l'investissement et 0,12 et 0,4 ETP/MW/an pour le fonctionnement. Ces études étant anciennes (2004 et 2009), il est logique qu'elles fournissent des chiffres supérieurs à ceux de TETE pour l'investissement car les coûts unitaires d'investissement dans l'éolien ont diminué ces dernières années et il en est de même pour les ratios d'emploi.

3. Le nombre exhaustif d'applications de l'outil n'est pas connu, les utilisateurs (souvent des bureaux d'études réalisant des études non publiques) ne communiquant pas forcément sur leurs travaux. Parmi les études publiées, citons l'étude des impacts emploi de la Troisième Révolution Industrielle (DR Ademe Hauts de France, 2018), du SRADDET Grand Est (DR Ademe Grand Est, 2020), du Pacte de Cordemais (DR Ademe Pays de la Loire, 2021), un projet de rénovation urbaine à Toulouse (Nösperger *et al.*, 2019), le développement de la filière biogaz en France (GRDF, 2019) et un scénario Zéro émissions nettes pour la France (EPE, 2019).

Pour le solaire photovoltaïque, les ratios dépendent de la taille et du type de l'installation (au sol, en toiture, avec ou sans tracker, etc.). Pour un système en grande toiture, TETE fournit pour 2015 un ratio de 10 ETP/MW pour l'investissement et 0,3 ETP/MW/an pour le fonctionnement. Les études recensées par Cameron et Van Der Zwaan (2015), qui concernent différents types de systèmes photovoltaïques, fournissent des fourchettes encore plus larges que pour l'éolien : 7 à 84 pour l'investissement et 0,1 à 1,65 pour le fonctionnement. Les ratios fournis par TETE sont dans le bas de ces fourchettes, ce qui est logique car les coûts du photovoltaïque ont massivement baissé ces dernières années.

Dans le présent article, nous présentons un exemple d'utilisation de l'outil : la quantification des emplois générés en France par le développement des énergies renouvelables et de la rénovation thermique des bâtiments dans le scénario énergétique négaWatt 2022⁴, sur la période 2021-2050. Parmi les quelques scénarios de transition énergétique élaborés pour la France ces dernières années, nous avons retenu le scénario négaWatt car il offre une cohérence des flux énergétiques, un niveau élevé de détail sectoriel, l'explicitation des principaux déterminants physiques de la consommation d'énergie (surfaces chauffées, capacités renouvelables installées dans l'année et capacités en service...) et un pas de temps annuel. Dans le reste de l'article, nous présentons le principe de fonctionnement de l'outil TETE, les choix qui s'offrent à l'utilisateur, puis les résultats de l'application à une partie du scénario négaWatt, avant de conclure.

1. Un principe de fonctionnement simple

La méthode retenue dans TETE consiste à calculer le contenu en emplois de la demande finale à partir du tableau entrées-sorties de la comptabilité nationale⁵. Elle reprend, en l'actualisant, le principe du modèle AVATAR construit à l'INSEE (Riffard, 1983) et du modèle DEFI élaboré par la Direction de la Prévision (aujourd'hui DG Trésor) du ministère des Finances (Péronnet et Rocherieux, 1983). Elle est proche de celle du modèle Avionic de l'INSEE (Bourgeois et Briand, 2019). Husson (1994) fournit une présentation limpide de ce type d'approche.

4. La description de ce scénario sera mise en ligne sur le site <https://www.negawatt.org/> à partir d'octobre 2021. On y trouve également une description des scénarios précédents réalisés par cette association.

5. Le principe de ce calcul a été élaboré par Leontief (1986) ; Miller et Blair (2009) fournissent une synthèse complète sur ce type de méthode et leurs applications.

1.1. Calcul de l'emploi au niveau national

Les chiffres estimés concernent les emplois situés en France : ceux situés à l'étranger ne sont pas comptabilisés. Les emplois sont présentés en « équivalent temps-plein » (ETP), c'est-à-dire que par exemple deux mi-temps comptent pour un emploi.

Les étapes de la méthode sont les suivantes :

- 1) Pour chaque activité (construction de parcs éoliens, maintenance de ces parcs, construction de nouvelles centrales nucléaires, construction d'infrastructures routières et ferroviaires, transport ferroviaire ou routier de voyageurs, ...), les indicateurs physiques (énergie produite, capacités installées dans l'année, trafic automobile en nombre de voyageurs-km ou de véhicules-km, ...) sont extraits du scénario de transition énergétique. Souvent, des hypothèses sont nécessaires pour passer des variables présentes dans le scénario à celles utilisables par TETE. Par exemple, TETE utilise comme variable d'entrée la capacité en éolien installée chaque année (en MW) tandis que certains scénarios énergétiques n'indiquent que la production d'électricité supplémentaire générée par ces éoliennes (en MWh). Passer de l'un à l'autre nécessite une hypothèse sur le facteur de capacité des éoliennes, ce qui dépend du type d'éolienne et de leur localisation. Pour aider à opérer ces conversions, une feuille de calcul en ligne met à disposition une bibliothèque de coefficients de conversion, permettant de partir des données disponibles, pour aboutir au format des entrées requis par l'outil TETE⁶ ;
- 2) Pour chaque activité, et pour chacune des années considérées, un coût unitaire est calculé (en euros constants par watt d'éolien installé, par tonne-kilomètre transportée...). La méthode retenue pour calculer ce coût unitaire varie selon l'activité, en fonction des sources disponibles. Pour certaines activités considérées comme mature, l'outil postule une stabilité des coûts au cours du temps, tandis que pour d'autres moins matures, ce coût diminue au cours du temps. Ces évolutions sont estimées déduction faite de la hausse du niveau général des prix. L'onglet « références » de l'outil TETE fournit chacune des sources utilisées pour calculer ces coûts et leurs évolutions ;

6. https://docs.google.com/spreadsheets/d/1QQsHjIXroGVnEZxyaaMsY-INNKIHp6_Zl3xnjsaMo9A/edit#gid=558332587

- 3) Ce coût unitaire est multiplié par l'activité de manière à calculer une demande monétaire, puis cette dernière est répartie dans une ou plusieurs des 139 branches du TES, sur la base d'expertises technico-économiques ;
- 4) Pour chacune des 139 branches, nous calculons le contenu en emploi, c'est-à-dire le nombre d'emplois (en ETP) créé en France par million d'euros de demande finale. Soit N le vecteur de l'emploi intérieur par branche, Y le vecteur de la production par branche, A la matrice des coefficients techniques tirée du TES⁷ et I la matrice identité. Nous calculons w , le vecteur des contenus en emplois directs et indirects par branche (en emplois équivalent temps plein par million d'euro de demande finale), par la formule suivante (cf. par exemple Husson, 1994) :

$$w = (I - A)^{-1} \cdot (N \otimes Y) \quad (1)$$

Où \otimes représente la division terme à terme, ou division de Hadamard.

- 5) Cette méthode permet de prendre en compte, non seulement les emplois directs (par exemple, les emplois dans la branche automobile créés par l'achat d'un million d'euros d'automobiles) mais aussi toute la chaîne des emplois indirects (les emplois chez les équipementiers, chez les fournisseurs des équipementiers, chez les fournisseurs de leurs fournisseurs, etc.), en se limitant aux emplois situés en France, car le TES utilisé distingue les consommations intermédiaires domestiques et importées. Nous supposons une hausse annuelle de la productivité du travail et donc une baisse du contenu en emplois de 0,5 %. Ce paramètre correspond à la croissance annuelle moyenne de la productivité horaire du travail en France au cours des dernières années (Cette *et al.*, 2017) ;
- 6) Pour chaque activité et scénario, nous multiplions la demande monétaire adressée à chaque branche par le contenu en emplois de celle-ci ;
- 7) L'outil fournit ensuite les résultats sous forme de tableaux et de graphiques, pour chacune des 139 branches, et par activité, à différents niveaux d'agrégation.

L'outil TETE peut fournir une évaluation brute des emplois, c'est-à-dire sans comparaison avec une année de base ou un autre scénario. Il

7. Cette matrice indique, pour chaque couple de branches i, j , le rapport entre la consommation intermédiaire de produit i par la branche j et la production de la branche j .

peut aussi fournir une évaluation nette de l'effet sur l'emploi, qui peut être positive ou négative ; dans ce cas, le calcul peut être effectué par rapport à une année passée (2015 ou postérieure) ou bien en comparaison avec un autre scénario, par exemple un scénario tendanciel moins ambitieux en matière de transition énergétique. Certaines activités vont générer un nombre d'emplois plus élevé dans le scénario testé que l'année passée ou que dans le scénario de référence, mais ça peut être l'inverse pour d'autres activités, par exemple dans le transport routier de marchandises ou le transport aérien. Il n'est pas donc évident *a priori* que l'effet net soit positif.

L'exemple d'utilisation présenté à la fin de cet article quantifie le résultat pour certaines activités du scénario négaWatt, qui toutes sont en croissance par rapport à aujourd'hui, et pour chaque année de 2021 à 2050.

L'outil fournit ainsi une évaluation brute des emplois mais aussi une évaluation nette au sens d'une comparaison par rapport à aujourd'hui.

1.2. Calcul de l'emploi à un niveau infranational

L'outil peut fournir également une estimation à un niveau infranational : région, département ou ensemble de communes. Dans ce cas, on multiplie la dépense adressée à la production nationale par un coefficient de localisation (CL), ce qui donne la dépense adressée à la production locale.

Le CL peut être choisi par l'utilisateur pour chaque élément et chaque année, ou bien laissé à la valeur fixée initialement. Dans ce dernier cas, on distingue deux groupes de branches. Tout d'abord, les branches dont l'emploi est typiquement local (ex : l'isolation thermique des bâtiments), pour lesquelles le CL est donc fixé à 100 %. Pour les autres branches, le coefficient de localisation est égal au rapport entre le nombre d'emplois salariés dans la zone considérée et le nombre d'emplois salariés dans la France entière, pour la branche en question. Pour une branche donnée, le CL est d'autant plus élevé que la zone considérée est importante (en nombre d'emplois) et qu'elle est spécialisée dans la branche en question.

Cette dépense adressée à la production locale est ensuite ventilée entre les 139 branches de l'économie française. On calcule alors la production locale pour chacune des branches, en multipliant le vecteur de dépense par la matrice de Leontief inverse, modifiée pour ne prendre en compte que les consommations intermédiaires produites

localement. Enfin, cette production locale est multipliée par le contenu en emplois directs de la production (en ETP/M€), ce qui donne l'emploi local par branche (en ETP).

2. De nombreux degrés de liberté pour les utilisateurs⁸

L'outil est constitué d'un tableur Excel ou LibreOffice. Il permet d'estimer l'impact sur l'emploi de multiples activités liées à la transition écologique. En revanche, il n'est pas nécessaire de renseigner toutes ces activités, ni de les renseigner forcément jusqu'en 2050. Parmi ces activités, la plupart sont liées à la transition énergétique :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le logement (rénovation thermique et construction neuve, pour les logements et les bâtiments tertiaires) ;
- la construction et l'exploitation des réseaux de chaleur ;
- la production d'électricité renouvelable (éolien, solaire photovoltaïque et thermique, bois-énergie, méthanisation, géothermie, petite hydroélectricité) ;
- le nucléaire : construction et opération de nouveaux réacteurs, démantèlement, dépenses de prolongation des réacteurs existants ;
- le développement de réseaux électriques, de batteries stationnaires et d'installations de power-to-gaz (électrolyse, méthanation) ;
- la réparation de divers types d'appareils ;
- la sensibilisation par des conseillers comme ceux du réseau FAIRE ;
- le transport individuel et collectif des personnes et des marchandises : services de transport, infrastructures, véhicules.

Les principales filières de collecte et de traitement des déchets ménagers et assimilés sont également prises en compte.

Une série de paramètres sont modifiables par l'utilisateur. Il s'agit :

- du niveau géographique pour lequel les résultats seront calculés : la France (métropolitaine) entière, une région, un département, ou un ensemble de communes. L'effet sur l'emploi sera d'autant

8. Pour davantage d'informations sur l'utilisation de l'outil TETE, cf. Ademe & Réseau Action Climat France (2020).

plus limité (en valeur absolue) que le niveau géographique sera étroit, car les coefficients de localisation seront plus faibles ;

- des coefficients de localisation. Ces paramètres sont ceux dont les valeurs sont fixées par défaut, sauf pour les branches dont l'emploi est typiquement local (cf. plus haut), ils sont égaux au rapport entre le nombre d'emplois salariés dans la zone considérée et le nombre d'emplois salariés dans la France entière, pour la branche en question. Faute de TES régionalisé en France, il est difficile de faire mieux pour l'ensemble des branches, mais un utilisateur qui dispose de données spécifiques au territoire considéré peut les utiliser ;
- de la croissance annuelle de la productivité du travail (fixée à 0,5 % par défaut). Pour un scénario donné, plus cette croissance sera élevée, moins les créations d'emplois le seront, et ce en particulier pour le futur éloigné ;
- des coûts de chaque activité, de la répartition de ces coûts entre différents postes, et de l'évolution de ces coûts. Par exemple, l'utilisateur peut modifier le coût de la rénovation thermique d'un m² de maison individuelle, la répartition de ce coût entre les interventions sur l'enveloppe et celle sur le système de chauffage, et l'évolution de ces coûts au cours du temps ;
- des taux d'importation pour chaque activité et de leur évolution dans le temps. Par défaut, ces taux sont égaux à ceux de la branche à l'année de base, soit 2015. Modifier ces taux permet par exemple de distinguer deux variantes d'un même scénario, dont l'un comporterait une hypothèse de relocalisation de la production de certaines branches, afin de tester dans quelle mesure une telle relocalisation serait favorable à l'emploi.

3. Un exemple : les emplois dans la rénovation des bâtiments et les énergies renouvelables générés par le scénario négaWatt 2022

3.1. Brève présentation du scénario négaWatt 2022

Parmi les quelques scénarios de transition énergétique élaborés pour la France ces dernières années, nous avons retenu le scénario négaWatt (2022) car il offre une cohérence des flux énergétiques, un niveau élevé de détail sectoriel, l'explicitation des principaux détermi-

nants physiques de la consommation d'énergie (surfaces chauffées, nombre de voyageurs.km...) et un pas de temps annuel.

L'association négaWatt, constituée en majorité d'experts de l'énergie, a réalisé à cinq reprises (en 2003, 2006, 2011, 2017 et 2022) des scénarios énergétiques pour la France à l'horizon 2050. Par rapport au précédent, le scénario 2022 comporte deux grandes nouveautés : d'une part les émissions importées, c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la fabrication à l'étranger de biens importés en France, sont désormais comptabilisées ; d'autre part le scénario négaWatt est couplé à un scénario négaMat qui évalue l'évolution de la consommation et de la production des principaux matériaux (acier, béton, cuivre, plastiques, lithium, etc.). Le site de l'association présente différentes documentations sur le scénario⁹.

La démarche générale de l'association consiste à partir des usages de l'énergie pour remonter aux ressources, conformément à la « trilogie négaWatt » : sobriété, efficacité, renouvelables. La sobriété consiste à agir sur le niveau d'usage (la quantité de services énergétiques). Il s'agit en quelque sorte de l'inverse de l'effet rebond (Giraudet et Quirion, 2008). L'efficacité consiste à réduire la consommation d'énergie pour une même quantité de services énergétiques. Sobriété et efficacité constituent les deux manières de réduire la consommation d'énergie. Le troisième volet consiste à remplacer les énergies de stock (fossiles, nucléaire) par les énergies de flux, c'est-à-dire les énergies renouvelables.

Le scénario est quantifié en termes physiques et non économiques : il comporte en particulier un bilan énergétique, une représentation de l'équilibre électrique au pas de temps horaire, des bilans matières pour les métaux et minéraux les plus importants et une représentation de l'agriculture, de l'alimentation et de l'usage des sols (dans le cadre du scénario Afterres2050 auquel il est couplé).

Parmi les transformations les plus importantes représentées dans le scénario, on note entre autres une rénovation thermique de l'essentiel du parc de logements et de bâtiments tertiaires, une réduction du trafic routier et aérien, ainsi qu'un recours à l'électricité et au gaz renouvelable (biogaz et gaz de synthèse) comme vecteurs énergétiques dominants à la place des énergies fossiles. Entre 2000 et 2050, la quantité d'énergie primaire diminue des deux tiers, celle d'énergie finale de

9. <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022#ressources>

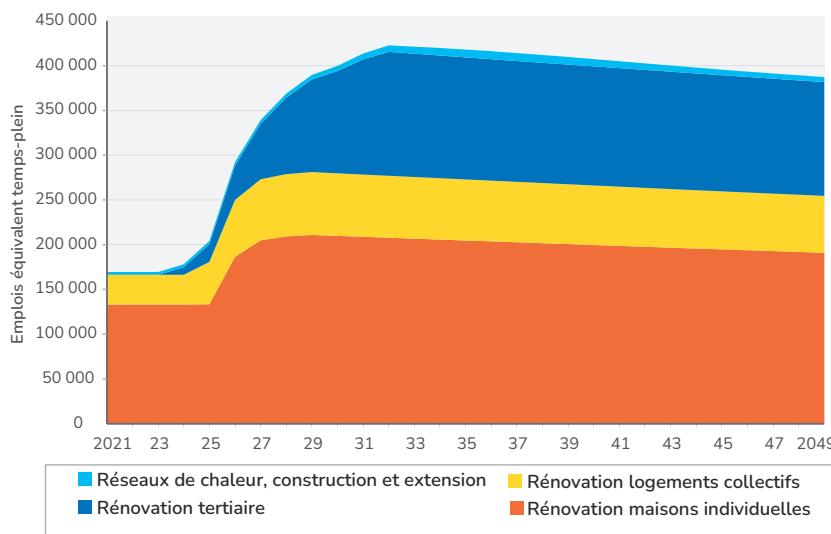
moitié, et le système énergétique est entièrement renouvelable en 2050, avec une sortie du nucléaire en 2045. À cette échéance, les émissions de gaz à effet de serre résiduelles proviennent surtout de l'agriculture. Les puits de carbone compensent les émissions de gaz à effet de serre territoriales à partir de 2047 et les émissions sur un périmètre « empreinte » (incluant celles occasionnées par les importations mais pas celles occasionnées par les biens exportés) en 2050.

3.2. Résultats

Les simulations réalisées avec l'outil TETE indiquent que la mise en œuvre du scénario entraînerait des créations d'emplois importantes¹⁰.

La montée en puissance de la rénovation thermique des bâtiments entraînerait un doublement du nombre d'emplois, avec un passage de 170 000 en 2021 à plus de 385 000 entre 2029 et 2050 (graphique 1). Ce nombre diminuerait légèrement à partir de 2030, une fois atteint un rythme de rénovations constant, à cause de l'hypothèse de hausse de la productivité du travail incluse dans l'outil TETE (+0,5 % par an).

Graphique 1. Emplois liés à la rénovation thermique et aux réseaux de chaleur



Calculs de l'auteur.

10. La feuille de calcul est disponible à l'adresse https://www.dropbox.com/scl/fi/gx7hssl87jqgzctgldrwp/Outil_TETE_version_3-0-4-SnW22-v4-pour-revue-Ofce.xlsb?dl=0&rlkey=1qulgu3ffc9uffy01u1c3wpxu

La rénovation des maisons individuelles représenterait, à partir de 2030, environ la moitié des emplois générés, le reste se répartissant entre les logements collectifs, le tertiaire et, dans une moindre mesure, les réseaux de chaleur.

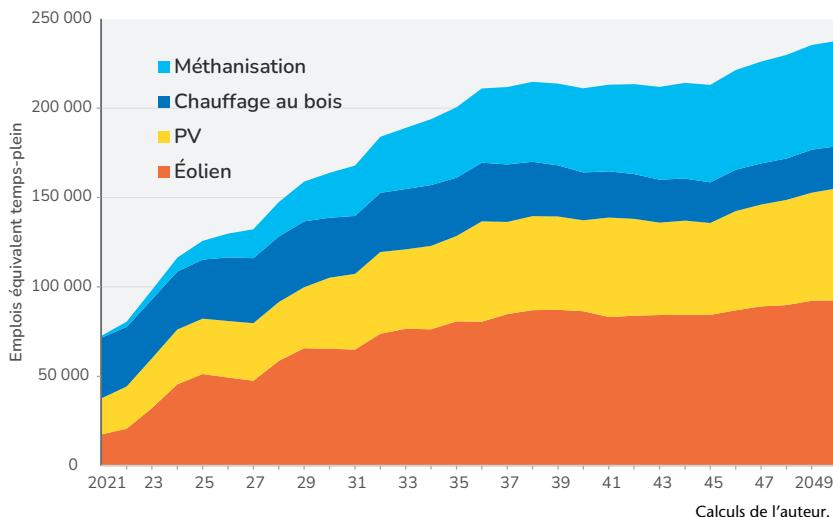
L'emploi dû à la rénovation ne croît qu'à un rythme modéré jusqu'en 2025 environ, car dans le scénario négaWatt, cette période correspond au passage de rénovations principalement par « gestes » non coordonnés (qui ne permettent pas une performance énergétique optimale à terme, cf. Ademe, 2021b) au profit de rénovations complètes et performantes, dans un premier temps à main-d'œuvre constante, puis en augmentant la main-d'œuvre. L'idée est de prendre le temps de former un très grand nombre de personnes à la rénovation performante.

Concernant les énergies renouvelables, nous avons quantifié les créations d'emplois pour l'éolien, le photovoltaïque, le chauffage au bois et la méthanisation. Pour l'ensemble de ces quatre filières, le nombre d'emplois passerait de 73 000 en 2021 à plus de 200 000 à partir de 2030 (graphique 2). Le nombre d'emplois diminuerait au cours du temps pour le chauffage au bois, principalement parce que la consommation de bois pour le chauffage des ménages baisserait grâce à une meilleure efficacité des équipements et à l'isolation des logements, et dans une moindre mesure du fait de la hausse de la productivité du travail mentionnée ci-dessus. Dans les trois autres filières, le nombre d'emplois augmenterait jusqu'en 2050, bien que les capacités nouvellement installées en éolien terrestre et en photovoltaïque diminuent en fin de période ; en effet, la croissance des emplois dans la maintenance (qui dépendent des capacités en fonctionnement) fait plus que compenser la légère baisse des emplois liés à l'installation des nouvelles capacités. La croissance de l'emploi dans la méthanisation est remarquable puisqu'on atteint 60 000 emplois en 2050, ce qui confirme les résultats d'une étude récente de GRDF utilisant la même méthode¹¹.

Avec l'outil TETE, nous avons également étudié la répartition de ces emplois entre les 139 branches de l'économie française. Le graphique 3 ci-dessous montre cette répartition de manière agrégée. La branche « construction spécialisée » (F43 de la nomenclature NAF rév. 2) compte pour environ la moitié des emplois tout au long de la période considérée, principalement parce que cette branche inclut la rénovation thermique des bâtiments. Le nombre d'emplois y faisant plus que

11. <https://projet-methanisation.grdf.fr/actualites/lemploi-dans-la-filiere-biogaz-en-france>

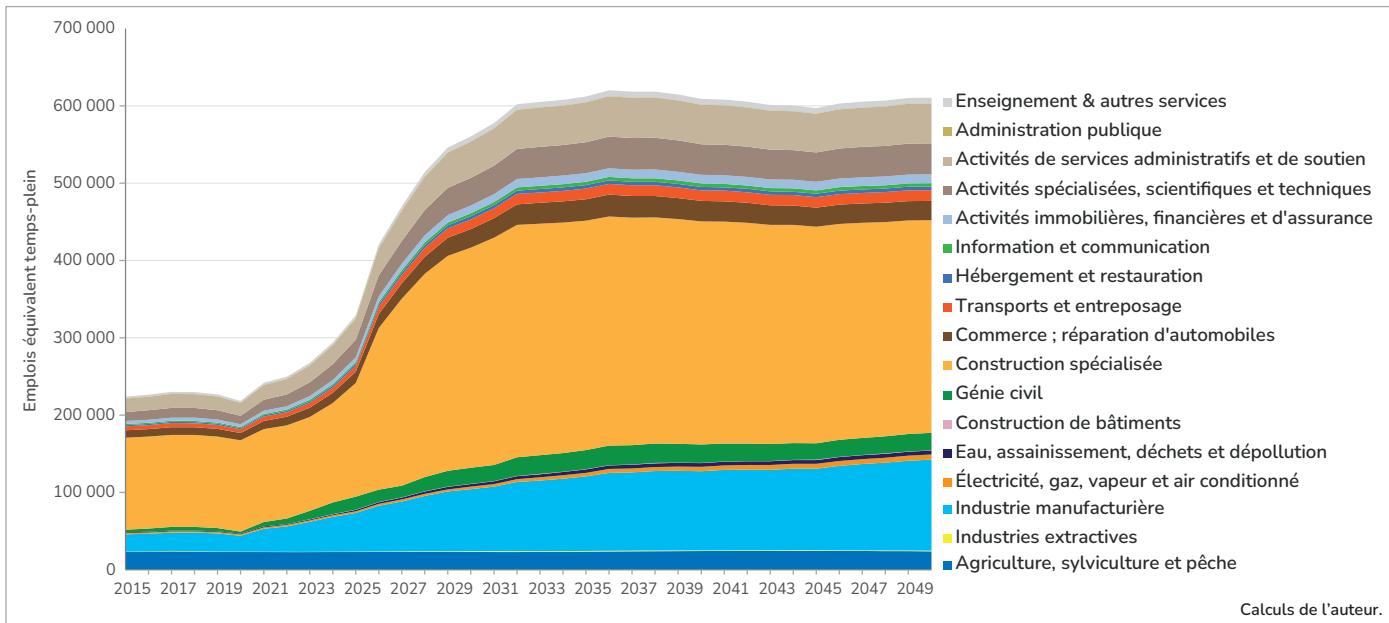
Graphique 2. . Emplois liés aux principales énergies renouvelables



doubler entre 2024 et 2032, pourvoir ces emplois constituerait un défi pour cette branche – défi qui devrait être préparé dès aujourd’hui. Pour nuancer ce propos, si l’activité dans la construction neuve se réduisait à l’avenir, par exemple du fait du ralentissement de la croissance démographique ou pour limiter les impacts environnementaux de cette activité, une réallocation des emplois entre ces deux branches pourrait atténuer cette difficulté.

L’emploi croît de manière importante dans de nombreuses autres branches, à commencer par l’industrie manufacturière qui fabrique les équipements pour les énergies renouvelables mais aussi les systèmes de chauffage installés à l’occasion de la rénovation thermique des bâtiments. Le génie civil voit aussi une croissance de l’emploi, portée par l’investissement dans les énergies renouvelables et à un degré moindre dans les réseaux de chaleur. Enfin, l’emploi croît dans différentes activités de service, entre autres du fait des études menées à l’occasion des investissements dans les énergies renouvelables.

Graphique 3. Emplois par branche



4. Conclusion

L'outil TETE permet de quantifier les emplois, directs et indirects, générés par une partie des activités économiques qui devraient être influencées par la transition écologique, ceci pour la France entière et à un niveau infranational, selon un ou plusieurs scénarios à l'horizon 2050.

L'utilisation de cet outil nous a permis de mettre en évidence les créations d'emplois dans la rénovation thermique des bâtiments et les énergies renouvelables qui résulteraient de la mise en place d'un scénario énergétique particulier, le scénario négaWatt 2022.

L'outil TETE comporte actuellement deux limites principales.

Premièrement, il ne prend pas en compte les rétroactions macroéconomiques que l'on trouve dans les modèles d'équilibre général ou macroéconomiques comme Three-ME ou Imaclim, ce qui constitue le prix à payer pour bénéficier d'un niveau élevé de désagrégation (139 branches), d'une simplicité et d'une transparence qui le rendent accessible à des utilisateurs non formés à la modélisation macroéconomique. Perrier et Quirion (2018) étudient par quels mécanismes économiques les résultats d'un outil du même type que TETE divergent de ceux d'un modèle d'équilibre général typique. Ils concluent que, pour le développement de la rénovation thermique des bâtiments et celui du solaire photovoltaïque, on peut s'attendre à des résultats assez proches.

Deuxièmement, il est centré sur la quantification des emplois (en ETP), sans traiter de la diversité des métiers dans les branches étudiées, ni de la qualité des emplois (intérêt de l'emploi aux yeux des travailleurs, conditions de travail, précarité, ...). Des réflexions sont en cours avec l'ADEME et le RAC pour enrichir l'outil TETE de ces dimensions plus qualitatives des emplois.

Remerciements

Je remercie un relecteur anonyme de la *Revue de l'OFCE* pour ses commentaires avisés, l'Ademe, le CGDD et GRDF pour avoir financé l'outil TETE et apporté leurs expertises, le Réseau Action Climat pour avoir coordonné son déploiement, ainsi que les personnes qui ont contribué à son développement, en particulier Noé Delargilliére, Meike Fink, Mathilde Françon, Laurence Haeusler, Charlotte Izard, Adrien Jacob, Simon Mottet, Quentin Perrier, Valentin Sauques, Fanny Vicard et Valérie Weber-Haddad.

Merci à Stéphane Chatelin, Christian Couturier, Thierry Hanau, Nicolas Hébert, Thomas Letz, Thierry Rieser et Thierry Salomon pour avoir mis à disposition les données concernant le scénario négaWatt et répondu à mes nombreuses questions sur ce point.

Je tiens à signaler ma profonde gratitude envers le regretté Michel Husson qui vient de nous quitter trop tôt. Sans son article consacré au contenu en emplois de la demande finale et sans nos discussions sur ce thème, ce travail n'aurait pu voir le jour.

Références

- Ademe Hauts de France, 2018), *Enjeux énergétiques et emplois dans les Hauts de France. Scénarios pour la Troisième Révolution Industrielle*. <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1401-enjeux-energetiques-et-emplois-dans-les-hauts-de-france-9791029710865.html>
- Ademe Grand Est, 2020, *Impact sur l'emploi et l'économie de la transition énergétique en Grand Est. Etat des lieux 2010 et 2016 - Perspectives 2050*. <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4026-impact-sur-l-emploi-et-l-economie-de-la-transition-energetique-en-grand-est.html>
- Ademe Pays de la Loire, 2021, Étude de quantification des conséquences sur l'emploi de la *transition énergétique dans le cadre du Pacte de Cordemais*. <https://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/synthese-étude-emploi-transition-énergétique-pacte-cordemais.pdf>
- Ademe, 2021a, *Marchés et emplois concourant à la transition énergétique dans les secteurs du bâtiment, des transports terrestres, des énergies renouvelables*. <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-énergie/4764-marchés-et-emplois-concourant-a-la-transition-énergétique-dans-les-secteurs-des-énergies-renouvelables-et-de-recuperation-des-transports-terrestres-et-du-batiment-residentiel.html>

- Ademe, 2021b, *La rénovation performante par étape. Rapport final.* <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>
- Ademe & Réseau Action Climat France, 2020, *Guide d'utilisation de l'outil 'Transition écologique territoire emploi' (TETE)*, mars, <http://www.territoires-emplois.org>
- Bourgeois A. et Briand A., 2019, « Le modèle Avionic : la modélisation input/output des comptes nationaux », *Document de travail INSEE*, n° G2019/02.
- Bulavskaya T. et Reynès F., 2018, « Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands », *Renewable Energy*, n° 119, pp. 528-538.
- Cameron L. et Van Der Zwaan B., 2015, « Employment factors for wind and solar energy technologies: a literature review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 45, pp. 160-172.
- Cassen C., Hamdi-Chérif M., Cotella G., Toniolo J., Lombardi P. et Hourcade J. C., 2018, « Low Carbon Scenarios for Europe: An Evaluation of Upscaling Low Carbon Experiments », *Sustainability*, vol. 10, n° 3, p. 848.
- Cette G., Corde S. et Lecat R., 2017, « Stagnation of productivity in France: a legacy of the crisis or a structural slowdown? », *Economie et Statistique/Economics and Statistics*, n° 494-495-496, pp. 11-38. DOI: 10.24187/ecostat.2017.494t.1916
- EPE, 2019, *ZEN 2050 - Imaginer et construire une France neutre en carbone. Entreprises pour l'environnement.* <http://www.epe-asso.org/zen-2050-imaginer-et-construire-une-france-neutre-en-carbone-mai-2019/>
- Giraudeau L.-G. et P. Quirion, 2008, « Efficiency and distributional impacts of tradable white certificates compared to taxes, subsidies and regulations », *Revue d'économie politique*, vol. 119, n° 6, pp. 885-914.
- Husson M., 1994, « Le contenu en emploi de la demande finale. *Revue de l'IRES*, hiver.
- Leontief W. (ed.), 1986, *Input-Output Economics*, Oxford University Press.
- Malliet P., Reynès F., Landa G., Hamdi-Cherif M. et Saussay A., 2020, « Assessing short-term and long-term economic and environmental effects of the Covid-19 crisis in France », *Environmental and Resource Economics*, vol. 76, n° 4, pp. 867-883.
- Markandya A., Arto I., González-Eguino M. et Román M. V., 2016, « Towards a green energy economy? Tracking the employment effects of low-carbon technologies in the European Union », *Applied Energy*, n° 179, pp. 1342-1350.
- Miller R. E. et Blair P. D., 2009, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University Press.
- NégaWatt, 2022, *Rapport sur le scénario négaWatt 2022*, à paraître.

Nösperger S., N. Damesin V. Furio et C. Chenot, 2019, *A Smart and Sustainable Vision when Assessing a Smart Urban Renovation Project: An Application Example*. ECEEE Summer Study. https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2019/5-smart-and-sustainable-communities/a-smart-and-sustainable-vision-when-assessing-a-smart-urban-renovation-project-an-application-example/

Péronnet F. et F. Rocherieux, 1983, « Le modèle DEFI : débouchés, emplois, filières interindustrielles - Problématique, principaux concepts et applications », *Économie et prévision*, n° 58, pp. 3-20.

Perrier Q. et Quirion P., 2017, « La transition énergétique est-elle favorable aux branches à fort contenu en emplois ? Une analyse input-output pour la France », *Revue d'économie politique*, vol. 127, n° 5, pp. 851-887.

Perrier Q. et Quirion P., 2018, « How shifting investment towards low-carbon sectors impacts employment: three determinants under scrutiny », *Energy Economics*, n° 75, pp. 464-483.

Riffard J.-P., 1983, « Un outil d'analyse du système productif : le modèle AVATAR », *Courrier des statistiques*, n° 26, pp. 33-36.

Transitions, In Numeri et Smash, 2019, Étude d'impact de la filière biogaz sur l'emploi en France de 2018 à 2030. <https://projet-methanisation.grdf.fr/actualites/lemploi-dans-la-filiere-biogaz-en-france>

Vidalenc E., T. Blais, Ademe, Enerdata, Energies Demain, In Numeri, 2018, *Enjeux énergétiques et emplois dans les Hauts de France. Scénarios pour la Troisième Révolution Industrielle*. <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1401-enjeux-energetiques-et-emplois-dans-les-hauts-de-france-9791029710865.html>

Achevé de rédiger en France
Dépôt légal : juillet 2022
Directeur de la Publication : Xavier Ragot
Publié par les Éditions du Net SAS 93400 Saint-Ouen

Réalisation, composition : Néjette Moumni